

L'ECONOMIA CIRCOLARE E L'INDUSTRIA CARTARIA

Il passaggio verso un'economia circolare, in cui il valore dei prodotti, dei materiali e delle risorse è mantenuto più a lungo possibile e la produzione dei rifiuti è ridotta al minimo, è una componente indispensabile per sviluppare un'economia che sia sostenibile

Francesco Claudio Campione^o, Giuseppe Speciale^{oo}

L'economia attuale può essere ampiamente descritta come "lineare", dove le materie prime vengono prelevate dalla natura ed utilizzate per produrre prodotti, che vengono utilizzati e, a fine vita, smaltiti.

Questo modello da origine a elevate quantità di rifiuti, creando una dipendenza tra lo sviluppo economico ed input di nuovi materiali vergini. In un mondo di risorse limitate, questo modello non può sussistere a lungo termine e vi sono indicatori che indicano che sta raggiungendo i suoi limiti.

Un modello di economia circolare

Il modello di economia circolare si differenzia da quello lineare (Figura 1) in quanto sostituisce la produzione dei rifiuti con un modello mirato a separare la crescita economica dall'uso di materie vergini.

Questo modello di economia circolare si differenzia per due tipi di cicli:

- **Ciclo Biologico** in cui i materiali non inquinanti vengono reinseriti nella Biosfera, ricostruendo il capitale naturale dopo essere stato utilizzato, in cascata, in diverse applicazioni.
- **Ciclo Produttivo** in cui, prodotti, componenti e materiali sono reinseriti in un mercato al più alto livello di qualità e durata possibile, attraverso la riparazione, la manutenzione, riutilizzo ed in ultima analisi il riciclo.

Il **M.C.I. (Material Circularity Indicator)** presenta le seguenti differenze e affinità con L.C.A. (Life Cycle Assessment).

Un L.C.A. si concentra sul conseguimento degli impatti ambientali per tutto il ciclo di vita di un prodotto per diversi scenari, mentre il M.C.I. si concentra sul flusso di materiali durante l'utilizzo di un prodotto, sollecitando specificatamente l'uso del riciclo o del riutilizzo di materiali e riciclo o riutilizzo alla fine dell'uso. In futuro il M.C.I. potrebbe essere uno dei parametri considerati come l'approccio eco-design.

Figura 1 Modello di economia lineare e circolare

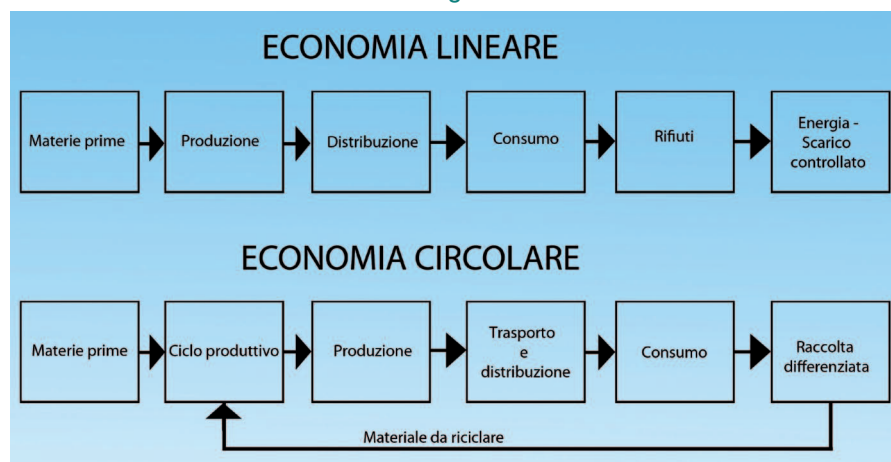


Figura 2 Cartiera Asia Pulp & Paper - Hainan (Cina)



Metodologia di calcolo di un indicatore di circolarità di un materiale per un prodotto

Un prodotto è chiamato completamente lineare se è fatto puramente da materia vergine e va completamente in discarica o al recupero di energia a fine vita.

La metodologia assegna un valore compreso tra 0 e 1 che valuta il risanamento della linearizzazione del flusso dei materiali utilizzati per il prodotto. L'indicatore di circolarità del materiale si concentra sul ripristino dei flussi di materiali di un prodotto e si basa sui seguenti quattro principi:

- utilizzare i materiali di base, provenienti da risorse riutilizzate o riciclate;
 - riutilizzare componenti o materiali di riciclaggio dopo l'uso del prodotto;
 - mantenere i prodotti in uso più a lungo (ad es. riutilizzo o ridistribuzione);
 - utilizzo più intenso dei prodotti (attraverso modelli di servizio o prestazionali).
- Quindi un prodotto può essere lineare nel caso di utilizzo esclusivo di materiali vergine ed alla fine dell'utilizzo viene smaltito in discarica, in questo caso l'indice di circolarità è dello 0%, mentre nel caso in cui non contiene materiale vergine accumulato e lo scarto viene riciclato o messo da parte come riuso di componente, l'efficienza è del 100%, tuttavia molti prodotti hanno un valore compreso tra i due estremi.

L'indicatore di circolarità di un materiale

è determinato calcolando il materiale di origine vergine e i rifiuti non recuperabili, ed il fattore di utilizzo. Il tema è caratterizzato da una doppia dimensione. A monte, si tratta di gestire le risorse in modo più efficiente, aumentandone la produttività nei processi di produzione e consumo, riducendo gli sprechi, mantenendo il più possibile il valore dei prodotti e dei materiali. A valle, occorre evitare che tutto ciò che ancora possiede una qualche utilità non venga smaltito in discarica, ma venga recuperato e reintrodotto nel sistema economico. Questi due aspetti costituiscono l'essenza dell'economia circolare che mira, attraverso l'innovazione tecnologica e una migliore gestione, a rendere le attività economiche più efficienti e meno impattanti per l'ambiente.

Industria cartaria: tipico esempio di economia circolare

La scarsa disponibilità di risorse forestali in Italia ha avuto uno sviluppo nella capacità produttiva basata sul riciclo della carta da macero.

L'utilizzo del macero limita il ricorso alle "materie prime vergini" e contemporaneamente riduce la quantità di materiali destinati allo scarico controllato. In virtù dell'incidenza dei costi delle materie prime, da tempo l'industria cartaria ha

perseguito la via dell'ottimizzazione delle risorse energia ed acqua.

L'Italia, povera di risorse forestali, ha sviluppato molto la tecnica per l'utilizzo della carta da macero. Circa la metà della produzione cartaria in Italia, si basa sul consumo della carta da macero.

La carta da macero può essere riutilizzata 5/6 volte e può essere distinta in due categorie:

- carta da macero industriale;
- carta da macero domestico.
- Il 50% della carta da macero mondiale, viene indirizzato verso i mercati asiatici, in primis verso la Cina. Recentemente nell'isola tropicale di Hainan (Cina) (Figura 2) è stata realizzata una cartiera gigante da Asia Pulp & Paper, in perfetta simbiosi con l'ambiente, sede della più grande linea produttiva di carta del mondo:
- *Produzione*: 1.000.000 di T di cellulosa/anno;
- *Produzione*: 900.000 T di carta/anno;
- *Lunghezza della macchina continua*: 428 m;
- *Potenza elettrica*: 30,5 MW e Impianto fotovoltaico;
- *Consumo idrico*: 5 lt/kg di carta;
- *Superficie occupata*: 553,36 ha (ettari).

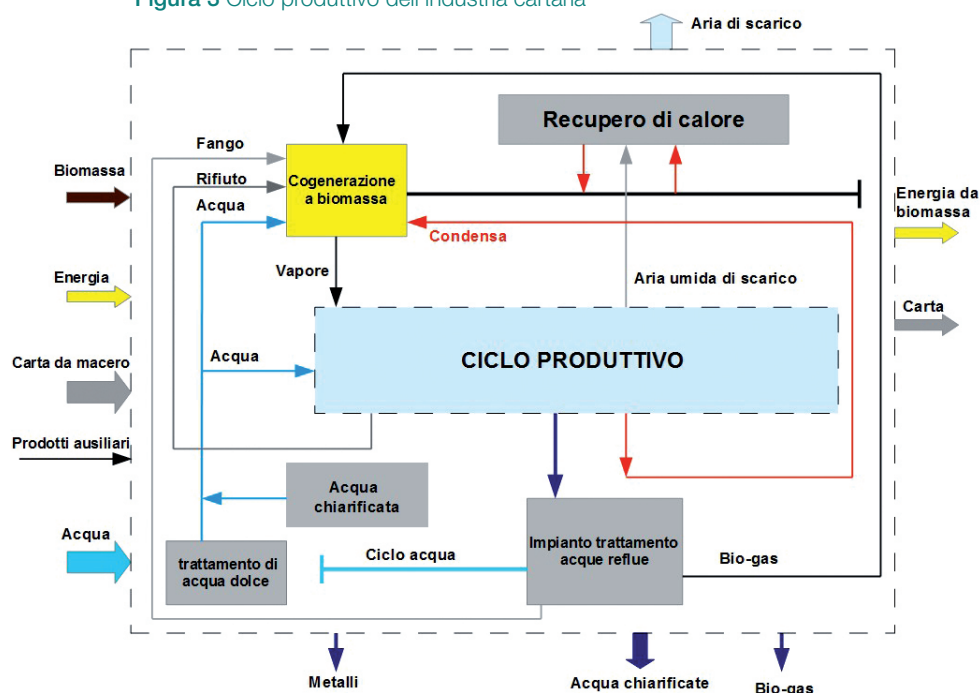
L'industria cartaria rientra nella definizione di settore "Energy intensive" per l'elevata richiesta di risorse energetiche che rappresenta la seconda voce di spesa.

Ciò ha determinato un forte impegno da parte delle aziende che, in questi anni, hanno investito nello sviluppo di forme di produzione di energia ad elevata efficienza, in modo particolare attraverso la produzione combinata di e.e. e vapore con impianti di cogenerazione.

I maggiori consumi di energia elettrica sono impiegati nella realizzazione degli impasti e per il funzionamento della macchina continua (che effettua, prima la formazione del foglio, poi la pressatura ed infine l'essiccazione). I consumi termici si registrano invece nella fase di essiccazione, che richiede grandi quantità di vapore.

Il ciclo di lavorazione della carta, richiede

Figura 3 Ciclo produttivo dell'industria cartaria



significative quantità di energia, sotto forma di calore (Q) che di energia (E) con un valore del rapporto Q/E intorno a 2,5. A rendere particolarmente adatta la cogenerazione è la circostanza che le industrie della carta funzionano con grande continuità e con consumi piuttosto costanti. Attualmente, il settore produce la maggior parte dell'energia elettrica e del calore con impianti di cogenerazione, utilizzando il gas naturale meno impattante rispetto ad altri combustibili fossili. I maggiori consumi di energia elettrica, sono assorbiti nella realizzazione degli impasti e per il funzionamento della "macchina continua". I consumi termici si registrano, invece, nella fase di essiccazione che richiede grandi quantità di vapore. Molte aziende del settore per diminuire le emissioni di gas serra (GHG) legate all'intero ciclo produttivo, hanno implementato un modello di sviluppo sostenibile, utilizzando la biomassa come combustibile e scarti del ciclo di lavorazione (Figura 3).

Produzione di energia a partire dalla biomassa disponibile

Approvvigionamento di biomassa per la produzione di energia elettrica e calore per il processo produttivo di una cartiera. Per la stima dell'energia ricavabile in un dato bacino di utenza è necessario acquisire i dati relativi alla densità della biomassa resa, (T/km² x anno) ed il contenuto energetico della stessa, p.c.i. (Mwh/T), pertanto l'e.e. prodotta in un determinato bacino di utenza (S) di raggio (r) sarà data da:

$$E.e. = S \times d \times p.c.i. \times \eta = [\pi \times r^2 \times d \times p.c.i. \times \eta] \quad (\text{Mwh/anno})$$

cerchio e raggio (r) ed $\eta = 22\%$

da cui assumendo un tempo (ore/anno) di utilizzo, la potenza installabile è data da:

$$P_e = E.e./t \quad (\text{MWe})$$

Lo stesso calcolo, può essere fatto per la produzione di energia termica $E_t = \text{Mwh/anno}$ e la potenza termica (MWt). In questo caso cambia il valore del rendimento energetico di conversione energetico (62%) e viene introdotto il fattore di utilizzazione ($F_u = 0,50$) che tiene conto dell'effettivo utilizzo dell'energia termica durante l'anno, pertanto la potenza termica darà data da:

$$E_t = S \times d \times p.c.i. \times \eta \times F_u = [\pi \times r^2 \times d \times p.c.i. \times \eta \times F_u] \quad (\text{Mwh/anno})$$

ed assumendo un tempo (ore/anno) di utilizzo si ricava la potenza termica installabile.

Esempio per una cartiera che produce 20.00 T/anno di carta:

- *Ciclo di lavorazione:* 24 ore x 335 gg/anno = 8.040 ore/anno;
- *Consumo di energia elettrica:* 14.774 MWh/anno;
- *Utilizzo di biomassa per produzione di e.e.;*

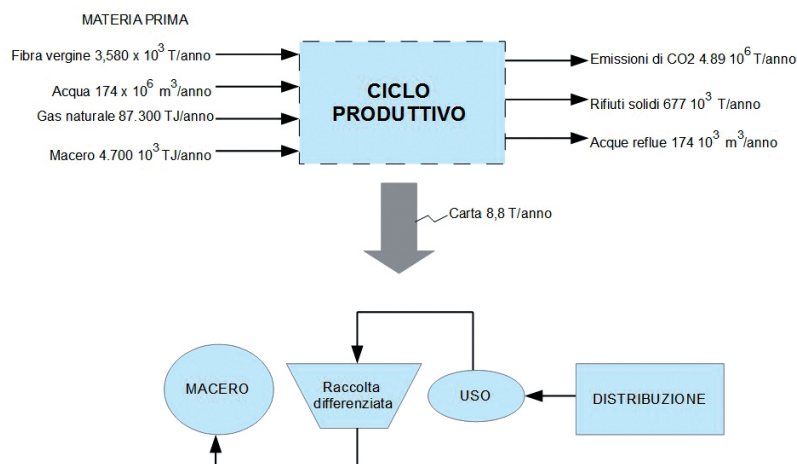
- *Tipologia:* Cippato;
- *Resa per ettaro:* 15 T/ha x anno;
- *p.c.i. =* 2,9 KWh/kg.;
- *Rendimento elettrico:* 20%;
- *Costo del cippato:* 40 euro/t;
- *Stoccaggio mensile:* 2.281 T/mese;
- *Superficie coltivata per coprire il fabbisogno annuo di e.e.:* 1.698 ha (ettari);
- *Produzione annua di cippato:* 25.470 T/anno;
- *Costo di gestione per l'approvvigionamento:* 1.018.800 euro/anno.

Dagli inizi degli anni '70 ad oggi, il consumo di energia, è diminuito del 40%, mentre la quantità d'acqua utilizzata durante il ciclo di lavorazione, è diminuita di oltre il 50%. Volendo fare un confronto fra i consumi relativi alla produzione di 1 tonnellata di carta vergine e 1 tonnellata di carta riciclata si hanno le seguenti stime riportate in Tabella 1. L'acqua è presente in notevoli quantità in tutte le fasi del ciclo di lavorazione, più acqua viene immessa nel sistema,

Tabella 1

Tipologia di carta	Consumo di energia	Acqua	Materia prima
1 T. carta vergine	7,60 MWh e.e.	440 mc.	15 alberi
1 T. carta riciclata	2,70 MWh e.e.	18 mc.	-----

Figura 4 Utilizzo di materie prime



più aumentano gli investimenti necessari agli impianti di depurazione e, di conseguenza, crescono i costi di esercizio e i relativi consumi di energia, per questo si è sviluppato il riciclo delle acque di processo.

L'acqua svolge un ruolo di primaria importanza all'interno del processo produttivo con cicli aperti o chiusi, a seconda della qualità del prodotto che verrà utilizzato. Il consumo idrico medio nell'industria cartaria in Italia è di circa 31 mc/T carta, mentre il valore di consumo tra i migliori ottenibili nell'ambito delle BAT (Best Available Techniques) è di 10-25 mc/T carta.

Gli aspetti ambientali propri del processo produttivo della carta sono schematizzati in Figura 4.

- **Utilizzo di risorse energetiche.**
- **Utilizzo di risorse naturali.**
- **Utilizzo di risorse idriche.**
- **Acque reflue dal ciclo produttivo.**
- **Emissioni atmosfera.**
- **Produzione di rifiuti (scarti di pulper).**

Per quanto riguarda l'utilizzo di risorse naturali, il processo di produzione della carta è caratterizzato da un utilizzo limitato di materie prime non rinnovabili.

La carta da macero, vera e propria "materia prima", oggi rappresenta oltre il 50% della fibra utilizzata nel processo produttivo della carta. Gli scarti di produzione del processo produttivo, sono a base di biomassa e sono idonei al recupero sia di materia che di energia.

I rifiuti del ciclo produttivo, si dividono in quattro gruppi:

- **fanghi di depurazione** (possibile recupero attraverso la produzione di laterizi);
- **rifiuti del processo di riciclo** della carta

da macero (scarti di pulper idonei per l'utilizzo energetico).

I fanghi di cartiera, se sottoposti a preventivo essiccamento, possono essere utilizzati per produrre energia. La quantità di fanghi e il conseguente comportamento alla disidratazione varia al variare delle materie prime impiegate e dal tipo di processo produttivo adottato. Per la disidratazione dei fanghi trovano impiego specifiche tecnologie come ad esempio le nastro-presse posizionate a valle della linea di trattamento dei fanghi di cartiera.

Gli scarti di pulper sono impurità, presenti nei maceri, che vengono rimosse nelle fasi iniziali di spappolamento.

I principali componenti (plastiche, legno e fibre di cellulosa) se sottoposte a combustione mediante l'utilizzo di caldaie, possono essere valorizzati come fonte energetica. L'energia termica generata dal processo di combustione del rifiuto, viene utilizzata per la produzione di vapore in un ciclo termico e/o per la produzione di energia elettrica.

Assumendo un valore del p.c.i. = 2,91 Kwh/kg e stimando che in Italia si producono circa 280.000 T/anno di questa tipologia di rifiuto, si potrebbe estrarre giornalmente l'equivalente di 192.000 Kwh/g di gasolio.

Vantaggio ambientale: l'utilizzo energetico degli scarti, consente di contenere i consumi di energia del processo, inoltre si realizza una riduzione dei rifiuti da inviare allo smaltimento finale.

- **fanghi di disinchiostrazione;**
- **scarti del ciclo di lavorazione** della carta, sfridi, etc. vengono riavviati in testa all'impianto di lavorazione.

Audit energetico nell'industria cartaria

L'Audit energetico, permette di ottenere uno screening approfondito sui consumi energetici del ciclo produttivo al fine di individuare delle soluzioni per l'energy saving nel processo di lavorazione.

La metodologia si basa sul calcolo di "Indicatori energetici" utilizzati al fine di confrontare le performance energetiche all'interno del ciclo tecnologico industriale rispetto a "Indicatori Benchmark" al fine di valutare se è necessario intervenire con interventi di miglioramento dell'efficientamento energetico.

Il D.L. n°102/ 2014 prevede che la diagnosi energetica debba essere eseguita dalle grandi imprese (con almeno 250 dipendenti) e dalle imprese ad elevato consumo di energia (almeno 2,4 Gwh di energia elettrica). Gli indicatori di prestazione energetica si possono suddividere in:

- indicatore delle attività principali (reparto produttivo);
- indicatore dei servizi ausiliari (centrali termiche, area compressori);
- indicatore delle attività generali (illuminazione e d uffici).

Gli indicatori consentono di confrontare le prestazioni e i consumi delle aree dello stabilimento con gli standard di riferimento.

$$I.P.E. = \text{Gas acquistato (Kwh)} + \text{E.E. acquistata (Kwh)} + \text{Gasolio autotrazione (Kwh)} - \text{E.E. ceduta}$$

Carta prodotta (T/anno)

Per i reparti produttivi gli indici sono calcolabili conoscendo i consumi dei vettori energetici nel ciclo produttivo e il quantitativo di carta prodotta:

$$I.t. = \frac{\text{Kwt Termici (calore di processo)}}{\text{T carta}}$$

T carta

$$I.e. = \frac{\text{Kwh elettrici}}{\text{T carta}}$$

T carta

Si riportano qui di seguito in Tabella 2 gli indici di riferimento per Carta da fibra vergine e in Tabella 3 indici di riferimento per carta riciclata.

Conclusioni

L'evoluzione in atto verso un'economia circolare implica un cambiamento radicale in cui l'innovazione tecnologica del sistema produttivo può rendere la produzione più sostenibile. In tal senso l'industria cartaria, implementando un modello di sviluppo sostenibile, attraverso il recupero della carta da macero, con conseguente riduzione delle materie prime, fabbisogno idrico, energetico ed emissioni di gas serra, ha prodotto: benefici economici e ambientali, riducendo i costi di produzione, di trasporto, facendo risparmiare il costo dei materiali in ingresso al ciclo produttivo. ■

[°]Ph.D. in Fisica Tecnica Ambientale, Assegnista di ricerca, Docente a contratto delle materie di Fisica Tecnica Ambientale, Gestione delle risorse energetiche del territorio - Scuola Politecnica, Università di Palermo.

^{°°}Tecnico ambientale, esperto in trattamento acque reflue civili ed industriali.

Tabella 2

TIPO DI CARTA	CONSUMO ENERGIA CALORE DI PROCESSO Kwh/T	CONSUMO ENERGIA ELETTRICA Kwh/T
Carta Grafica	1.300 – 1.700	660 – 800
Tissue	1.800 – 2.100	900 – 1.100

Tabella 3

TIPO DI CARTA	CONSUMO ENERGIA CALORE PROCESSO Kwh/T	CONSUMO ENERGIA ELETTRICA Kwh/T
Carta riciclata^(°)	1.100 – 1.500	340 – 450
Carta riciclata^(*)	1.200 – 1.600	400 – 500
Carta con disinchiostrazione⁽⁺⁾	1.000 – 1.800	900 – 1.300
Carta con disinchiostrazione⁽⁺⁺⁾	1.000 – 1.100	450 – 550

^(°)senza disinchiostrazione (carta per imballaggi)

^(*)senza disinchiostrazione (carta per stucchi patinata)

⁽⁺⁾con disinchiostrazione (carta grafica)

⁽⁺⁺⁾carta per astucci