



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

FLORE

Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

Le risorse energetiche: aspetti teorici e metodologici legati all'uso delle biomasse

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

Le risorse energetiche: aspetti teorici e metodologici legati all'uso delle biomasse / C. Fagarazzi. -
STAMPA. - (2003), pp. 5-24.

Availability:

This version is available at: 2158/780935 since:

Publisher:

Centro Stampa 2P

Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

Publisher copyright claim:

(Article begins on next page)

Capitolo 1

Le risorse energetiche: aspetti teorici-metodologici ed ambientali legati all'uso delle biomasse

Introduzione

In natura tutto è energia: gli alberi, gli animali, gli uomini, la pioggia, il vento che soffia; alcune di queste forme di energia sono facilmente rilevabili mentre altre risultano poco percepibili: è questo il caso dell'energia chimica contenuta nei combustibili o nel cibo, o quella potenziale contenuta nelle acque dei bacini idrici posti ad elevate quote.

Fra tutte le fonti di energia, quella solare è sicuramente quella che costituisce il motore principale di tutti i fenomeni che accadono sulla terra. Il sole irradia infatti sulla terra una potenza stimata di circa 178×10^{12} Kilowatt sotto forma di luce, di cui un terzo viene riflessa, un sesto viene assorbita dall'atmosfera, mentre oltre la metà viene accumulata dalla superficie terrestre (Pietrogrande e Masullo, 2003). L'energia del sole è infatti in grado di soddisfare 13.500 volte il fabbisogno energetico attuale dell'umanità, basti pensare che secondo recenti stime (Pietrogrande e Masullo, 2003) l'energia immagazzinata nei processi di evaporazione delle acque terrestri è pari a circa 400×10^9 Kw, mentre l'energia immagazzinata per la creazione dei venti è di circa 370×10^9 Kw. Se a ciò aggiungiamo l'energia stoccata nelle materia vivente attraverso il processo di fotosintesi, che assorbe circa 80×10^9 Kw, raggiungiamo appena l'1% dell'energia irradiata sulla terra.

E' quindi evidente che il nostro pianeta non ha problemi di "scarsità" di risorse energetiche quanto, piuttosto, un problema di "qualità" dell'energia utilizzata per lo sviluppo socio-economico umano. Infatti, quando acquistiamo un prodotto, la nostra scelta è un compromesso tra il suo costo e due variabili qualitative: una intrinseca legata alle caratteristiche specifiche del prodotto, e l'altra legata al benessere (soggettivo) che quel determinato prodotto ci apporta (gradevolezza estetica, colore, profumo, ecc.). E' ad esempio evidente che l'acquisto di un'autovettura da parte di un individuo sia condizionata dal rapporto fra costo del prodotto e caratteristiche tecniche intrinseche (tenuta di strada, sistemi di sicurezza passivi, ecc.) a cui si aggiungono aspetti qualitativi come il colore, l'abitabilità, il tipo di interni, gli optional elettronici, ecc., che rendono l'acquirente più o meno appagato rispetto ai bisogni individuali.

Questo processo di valutazione, che avviene inconsciamente per tutti i beni e servizi presenti sul mercato, viene invece disatteso quando andiamo ad acquistare prodotti energetici. In tal caso, quando acquistiamo un Kilowattora elettrico o un litro di benzina, difficilmente siamo in grado di percepirne la qualità, mentre siamo perfettamente capaci di percepirne il costo e la comodità d'impiego. Semmai, poniamo talvolta maggiore consapevolezza sulla scelta dei mezzi da impiegare per trasformare tale energia nel prodotto finale (es. luce, calore, ecc.) orientandoci verso mezzi più efficienti ed a basso consumo. In realtà, così come un prodotto alimentare ha una "qualità intrinseca", anche il prodotto energetico ne ha una propria legata alla risorsa ambientale da cui è generata ed al processo di trasformazione a cui è sottoposta. Per poter definire la "qualità dell'energia", è quindi indispensabile classificarne la fonte.

Spesso, le fonti energetiche vengono genericamente classificate come risorse naturali o risorse ambientali. Si tratta però di definizioni che, secondo Kahn (1998), sono usate in modo improprio come sinonimi. In realtà, pur essendo difficile fare una distinzione universalmente valida fra i termini, è possibile distinguere tre tipologie di risorse concettualmente diverse:

- le risorse naturali;
- il flusso di risorse;
- le risorse ambientali.

Le prime sono prodotte dalla natura e possono essere divise progressivamente e successivamente utilizzate, ma non possono essere utilizzate senza l'impiego di altri *inputs* come il capitale ed il lavoro. Ovviamente questo tipo di risorse può essere distinto in risorse rinnovabili e non rinnovabili, in relazione alla loro capacità rigenerativa.

Generalmente le risorse come il petrolio ed il carbone vengono considerate come risorse esauribili, cioè *risorse non rinnovabili*, anche se in realtà anche queste risorse sono continuamente rigenerate. Esse sono comunque classificate come non rinnovabili per due ragioni fondamentali: innanzitutto perché i tassi di rigenerazione sono talmente piccoli rispetto ai tassi di sfruttamento che per semplicità possono essere uguali a zero; secondariamente, la rigenerazione della risorsa non è funzione dello *stock* di risorsa preesistente ma conseguenza di nuovi depositi organici.

Le *risorse rinnovabili*, infatti, per essere classificate come tali devono essere caratterizzate da un tasso di rigenerazione che sia funzione dello *stock* di risorsa, per cui la definizione dello *stock* sarà di focale interesse per le decisioni gestionali.

Il *flusso di risorse* è invece rappresentato da risorse che usualmente sono classificate come rinnovabili ma che in realtà non hanno capacità rigenerativa. Tipici esempi sono l'energia solare e quella eolica, che pur essendo classificate come rinnovabili, anche in documenti di programmazione politica e normativi, non presentano una capacità rigenerativa ne tantomeno uno *stock* su cui è possibile agire, aumentando o diminuendo, al fine di variare la disponibilità futura di queste risorse.

Infine, le *risorse ambientali* sono anch'esse risorse prodotte dalla natura ma caratterizzate dalla indivisibilità e dal fatto che non sono consumabili direttamente, ma attraverso i servizi che queste risorse producono, per cui esse possono essere stimate in termini di qualità e non di quantità. Esse sono ad esempio: un ecosistema, un biotopo od un paesaggio; ed i servizi che essi offrono sono rappresentati ad esempio da servizi di supporto alla vita (aspetti biologici) o da benefici estetici.

Potremmo paragonare la *risorsa ambientale* individuata da Kahn (1998) come la funzione (e quindi il servizio) di utilità diretta individuato da Pearce e Turner (1989) la cui qualità è misurabile ad esempio attraverso il livello di erbicidi o la capacità di assorbimento di CO₂ riscontrabile in un dato ambiente.

La principale, se non esclusiva, *risorsa rinnovabile* impiegata per la produzione energetica, è sicuramente rappresentata dalla *biomassa*. Si tratta di un termine che raggruppa una molteplicità di materiali, talvolta molto difforni tra loro, che comunque sono riconducibili ad una matrice comune; ossia al fatto che tutti sono costituiti da una radice organica. Sulla base di quanto finora esposto e quindi possibile concludere che la *biomassa* rappresenta la forma più sofisticata di accumulo di energia solare. Attraverso il processo di fotosintesi viene infatti impiegata energia solare per la conversione della CO₂ atmosferica in materia organica per l'accrescimento delle piante. Tale processo porta, a livello planetario,

alla fissazione di circa 2×10^{11} tonnellate di carbonio all'anno, con un contenuto energetico dell'ordine di 70×10^3 Mtep¹ (Labelab, 2002). In particolare, la biomassa utilizzata per scopi energetici è costituita dall'insieme di materiali organici utilizzabili direttamente (es. legna da ardere) od indirettamente (attraverso trasformazione in combustibili gassosi, liquidi o solidi) in impianti per la produzione energetica quali i motori, i termo-elettrogeneratori o i termoconvettori.

Fra le *biomasse* propriamente dette, il caso del bosco, principale fonte di energia del nostro Paese fino al XVIII secolo, rappresenta per Kahn (1998) una risorsa mista, in parte classificabile come risorsa rinnovabile che può essere tagliata ed utilizzata, ed in parte come risorsa ambientale indivisibile rappresentata dall'ecosistema forestale. Questo tipo di approccio pone quindi il problema di come bilanciare i vantaggi derivati da una parte dalle utilizzazioni del bosco, considerato come risorsa rinnovabile, e da l'altra dalla preservazione del bosco che in questo modo viene considerato per i suoi aspetti ambientali.

Gli impieghi che l'uomo fa dei prodotti derivati dalle aree forestali sono infatti molteplici, dalle strutture edilizie, ai mobili, alla carta, così come per la produzione di prodotti chimici. Non bisogna poi dimenticare che in tutto il mondo ha rappresentato, e rappresenta ancora una delle principali fonti energetiche per il riscaldamento degli ambienti domestici.

Per contro, la preservazione garantisce l'espletamento di altre funzioni attribuite agli ecosistemi forestali, quali: il ruolo di habitat per altri organismi sia vegetali che animali, la regimazione delle acque superficiali, e la fissazione del biossido di carbonio presente in atmosfera. A queste funzioni si vanno poi ad aggiungere quelle legate all'uso antropico degli ecosistemi forestali per gli aspetti ricreativi e di svago, per la produzione di prodotti del sottobosco e per il pascolo del bestiame.

Il fatto che la maggior parte delle decisioni prese oggi relativamente all'impiego di risorse naturali, siano esse rinnovabili che non, abbiano effetti sulle disponibilità future, induce la necessità di valutazioni congiunte sia economiche che ecologiche che si pongano in un'ottica dinamica del problema. Il presente studio ha quindi sviluppato un approccio econometrico che tiene in debita considerazione le implicazioni future conseguenti all'uso di risorse rinnovabili, come i boschi, contestualmente ad analisi degli ecosistemi che valutino anche aspetti legati alle dinamiche di popolazione ed ai modelli di accrescimento delle risorse, allo scopo di definire un livello di offerta delle risorse compatibile con la capacità rigenerativa delle stesse.

Le regole per la sostenibilità del sistema economico

Le risorse energetiche rappresentano sia uno dei principali fattori che determinano la crescita economico e sociale di una nazione, sia uno dei fattori limitanti che possono pregiudicare le opportunità di sviluppo delle future generazioni.

Il sistema economico infatti, attraverso la produzione, determina la trasformazione degli input ambientali per la creazione di beni di consumo che forniranno utilità e benessere all'uomo.

Risulta evidente che affinché le risorse ambientali possano espletare la funzione di inputs energetici all'interno del sistema economico, è necessario che esse vengano consumate.

¹ Mega Tonnellate Equivalente Petrolio

Ora, poiché per loro natura le risorse risultano limitate, il consumo delle stesse all'interno del *sistema* pone due ordini di problemi: da un lato la determinazione della quantità massima utilizzabile compatibile con la perpetuazione delle stesse; dall'altro la determinazione della quantità massima di rifiuti assimilabili dall'ambiente.

Potremmo quindi definire il *sistema economico sostenibile*, come quel sistema capace di perpetuarsi nel tempo ed in grado di migliorare la qualità della vita sotto il vincolo della perpetuazione delle funzioni ambientali. Al fine di garantirne la perpetuazione, sarà quindi necessario definire dei criteri guida, per la gestione delle risorse naturali, capaci di assicurare la sostenibilità del sistema.

Nel caso in esame, la regolamentazione nell'uso delle risorse energetiche, non coinvolge ovviamente la totalità delle funzioni economiche attribuite all'ambiente; questo perché non tutte le funzioni assolve dagli ecosistemi comportano mutazioni negli *stock* di risorse. Infatti, l'utilità diretta derivata dal semplice godimento degli ambienti naturali non comporta una variazione quantitativa del complesso di beni in oggetto, né ne pregiudica la capacità di assimilazione dei rifiuti². Per contro, l'uso delle risorse come *inputs* produttivi (energetici) e come collettore di rifiuti, può produrre effetti negativi sulla funzione di godimento degli ambienti naturali, che per tale ragione può richiedere opportune valutazioni degli effetti negativi, attraverso stime delle funzioni ricreative (vedi Casini, 1993, Marinelli e Romano 1987, Marinelli *et al.* 1990)

Nel presente lavoro è stata focalizzata l'attenzione su criteri di gestione degli ecosistemi agro-forestali che garantiscano la perpetuazione delle *funzioni economiche* di "generatore di risorse energetiche" e di "collettore di rifiuti come gas serra ed inquinati prodotti dalla combustione".

Relativamente al primo aspetto, funzione di generatore di risorse energetiche, abbiamo già menzionato che possiamo distinguere due tipi di risorse energetiche: quelle rinnovabili e quelle non rinnovabili. Le prime sono caratterizzate dalla possibilità di autorigenerarsi, per cui, nell'ipotesi di non utilizzazione, lo *stock* di risorse può variare nel tempo fino a raggiungere un livello massimo (o di omeostasi) caratteristico per ciascuna risorsa e per i diversi ambienti riscontrabili sul pianeta; le seconde invece, sono caratterizzate, sotto l'ipotesi di non uso, dalla staticità dello *stock* (Figura 1). La figura 1 mostra appunto la dinamica degli *stock* di risorse energetiche rispetto al tempo. Come si può notare, lo *stock* di risorse energetiche non rinnovabili (*REN*) rimane inalterato nel tempo se non utilizzato, viceversa lo *stock* di risorse energetiche rinnovabili (*RER*) cresce progressivamente fino a raggiungere un livello di saturazione, o di omeostasi, in corrispondenza del quale il differenziale fra *stock* riprodotto e *stock* decomposto è nullo.

L'andamento della curva di accrescimento delle risorse energetiche rinnovabili (*RER*), è anche definita di tipo *logistico*, ed è rappresentativa di popolazioni (nel caso di risorse biologiche come le biomasse), che, in riferimento alla *capacità di carico*³, hanno una strategia cosiddetta di tipo *K*.

² In realtà una eccessiva pressione antropica conseguente ad un eccessivo afflusso turistico in alcune aree naturali può, in effetti, pregiudicare delicati equilibri ecosistemici, soprattutto modificando il comportamento della fauna, procurando danni alla flora, immettendo rifiuti direttamente in ecosistemi stabili.

Si tratta in ogni caso di effetti che relativamente al nostro studio, focalizzato sulla valutazione dei bilanci delle risorse naturali, comportano modificazioni impercettibili dopo lunghi periodi di tempo. Per questo motivo tali aspetti non sono stati presi in considerazione nella presente ricerca.

³ La dimensione massima di una popolazione biologica nelle condizioni date (*habitat specifico*) ed in assenza di alterazioni antropiche.

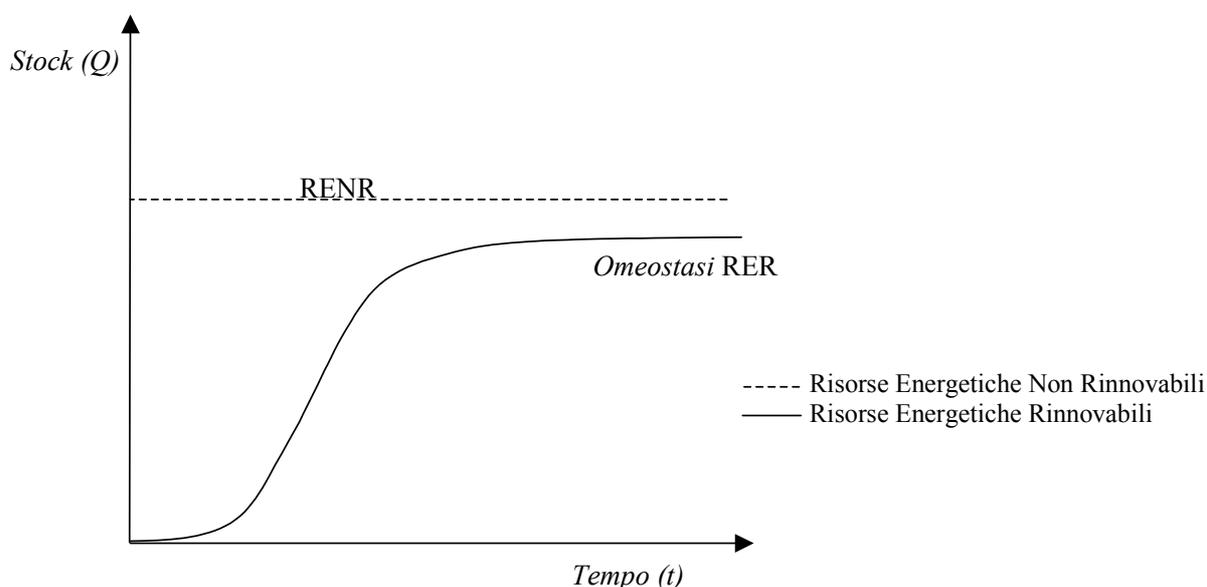


Figura 1 - Variazioni dello stock di risorse energetiche nell'ipotesi di non utilizzazione

Relativamente al secondo aspetto, *capacità di assimilazione/assorbimento dei rifiuti*, secondo diversi autori (vedi Pearce e Turner 1989, Kahn 1998) essa può essere assimilata ad una risorsa rinnovabile. Ciò perché è possibile ipotizzare che essa vari nel tempo in relazione alle variazioni dei flussi di rifiuti di origine antropica che vengono immessi nell'ambiente. In particolare, se il flusso di rifiuti immessi è superiore alla *capacità di assorbimento*, si verifica un danneggiamento degli ecosistemi che determina una riduzione della *capacità di assimilazione* dell'ambiente. Se, in seguito, l'entità dei rifiuti introdotti nell'ambiente torna nuovamente al di sotto del *livello di assimilazione*, si verificherà un incremento della *capacità*, proporzionale alla quantità di *stock* di risorse ambientali non danneggiate, che si protrarrà fino al raggiungimento del livello di equilibrio. Ciò significa che, analogamente a quanto accade per le risorse rinnovabili, la *capacità di assorbimento dei rifiuti* dell'ambiente presenta un tasso di rigenerazione che è funzione dello *stock* di *capacità di assimilazione* esistente.

L'obiettivo di sostenibilità del sistema economico, sarà quindi garantito dalla perpetuazione delle funzioni ambientali di "generatore di risorse" (nel nostro caso energetiche), e di "collettore di rifiuti" (come gas serra ed inquinati prodotti dalla combustione) degli ecosistemi agro-forestali. Per fare ciò sarà necessario mantenere costante nel tempo gli *stock* di risorse e quindi la capacità rigenerativa delle stesse.

Ora, affinché esse possano mantenere costante la capacità rigenerativa è indispensabile che vengano utilizzate ad un tasso minore od al massimo uguale al saggio di accrescimento della risorsa: ossia: $u \leq r$, dove r rappresenta il saggio di accrescimento della risorsa naturale ed u il tasso di utilizzazione della stessa.

Se rispettiamo la suddetta regola, avremo che lo *stock* di risorse non diminuirà e sarà quindi disponibile in futuro per il sostentamento del sistema economico.

Complementarietà e trade-off fra risorse naturali e livello di vita

Nel paragrafo precedente abbiamo illustrato il criterio fondamentale che guida le scelte gestionali all'interno di sistemi economici sostenibili dal punto di vista ambientale.

In realtà è necessaria una integrazione a questi principi che consenta di considerare anche le risorse energetiche non rinnovabili. Lo sfruttamento di queste ultime appare infatti in netto contrasto con quelli che sono i principi di sostenibilità del sistema, poiché in caso di uso delle risorse energetiche non rinnovabili non è possibile garantirne la perpetuazione nel tempo.

Secondo Pearce e Turner (1989) è possibile introdurre nel modello economico ambientale generale le risorse energetiche non rinnovabili se assumiamo due ipotesi fondamentali; ossia se la riduzione dello *stock* di risorse energetiche non rinnovabili è compensata da un corrispondente incremento delle risorse energetiche rinnovabili⁴, originando fenomeni di *sostituzione* fra risorse, e se garantiamo un incremento dell'efficienza d'uso delle risorse energetiche, rinnovabili e non, tale da compensare la riduzione del livello d'impiego delle risorse al fine di mantenere il medesimo livello di vita.

Per poter verificare gli effetti che la sostituzione fra risorse energetiche ed il miglioramento dell'efficienza d'uso delle stesse hanno su un sistema economico locale, si può considerare la relazione esistente fra livello di vita della popolazione e livello degli *stock* delle risorse naturali.

In qualsiasi sistema economico il livello di vita delle popolazioni è funzione della quantità e qualità di risorse (rinnovabili e non) disponibili sul territorio. Nel caso dei Paesi industrializzati, dove il sistema economico ha già consentito il raggiungimento di un determinato livello di vita, è possibile assumere che la situazione di origine corrisponda ad certo livello di vita (L_1) raggiunto con un determinato *stock* di risorse (x_1) (Figura 2).

Secondo l'approccio tradizionale del paradigma del *trade-off* (PTO_1), in condizioni di assenza di innovazione tecnologica, dato un certo *stock* di risorse iniziali, x_1 , a cui corrisponde un livello di vita pari ad L_1 , sarà possibile incrementare il livello di vita fino ad L_2 , solo consumando una quantità di risorse pari a (x_1-x_2) (Figura 2).

In realtà il sentiero di sviluppo rappresentato dal modello di *trade-off* (PTO_1) può subire delle modificazioni conseguenti a mutamenti nell'uso delle risorse ed a mutamenti nell'equilibrio ambientale. Nella figura 2 è possibile verificare che lo "sviluppo tecnologico", che induce miglioramenti nell'efficienza dei processi di trasformazione delle risorse, consente il passaggio dal modello (PTO_1) al modello (PTO_2).

L'effetto del miglioramento tecnologico può consentire due sviluppi: da un lato un innalzamento del livello di vita da L_1 ad L_2 a parità di impiego di risorse (pari ad x_1), ossia il passaggio dal punto di equilibrio a al punto di equilibrio d ; dall'altro lato il mantenimento del medesimo livello di vita, L_1 , ed un contemporaneo incremento dello *stock* di risorse, che passano da x_1 ad x_3 . Quest'ultimo effetto è dovuto al fatto che per un certo periodo di tempo (fino al momento in cui viene raggiunto il nuovo equilibrio, c , il saggio di utilizzazione della risorsa è inferiore al saggio di accrescimento della stessa.

Viceversa modificazioni dell'equilibrio ambiente-uomo, dovute ad esempio ad uno sviluppo demografico, comportano effetti diametralmente opposti (Pearce e Turner, 1989).

⁴ Nello studio in oggetto questa sostituzione è rappresentata dalla sostituzione di combustibili fossili (gasolio, metano, GPL, ecc.) con combustibili di origine organica (biomasse ligno-cellulosiche).

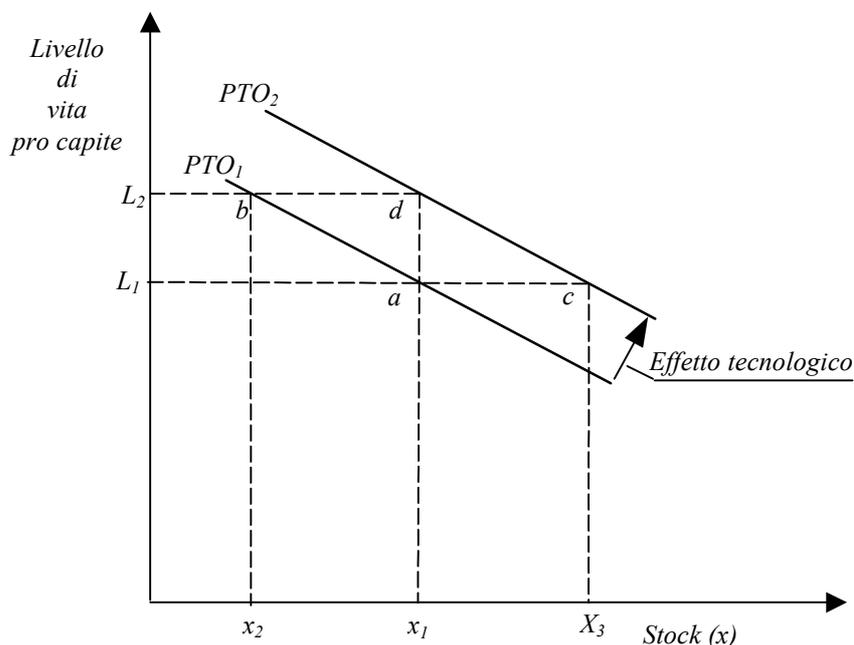


Figura 2 - Modello del trade-off

Nella realtà possiamo individuare due direzioni di sviluppo delle tecnologie: una orientata all'incremento dell'efficienza d'uso delle risorse naturali tradizionalmente impiegate; l'altra diretta alla ricerca di nuove tecnologie capaci di utilizzare risorse fino ad ora non impiegate nel sistema economico al fine di garantire il medesimo livello di vita che derivava dall'uso di risorse tradizionali, (*effetto di sostituzione*).

Entrambi questi aspetti possono però presentare effetti discordanti sugli *stock* di risorse naturali. Nel primo caso infatti, si può verificare un paradosso, per cui l'incremento di efficienza nell'uso di una risorsa, finisce, nel medio lungo termine, per accrescere progressivamente il suo uso piuttosto che ridurlo.

Questo paradosso fu enunciato per la prima volta da W. S. Jevon nel suo libro *The coal Question* del 1865. Egli mise in luce tale fenomeno in riferimento al carbon fossile, ma successivamente altri studiosi ne hanno evidenziato un riscontro pratico in altri settori quali: le relazioni fra risorsa rappresentata da "ampiezza delle sedi stradali" e congestione del traffico ed i rapporti fra "incremento di efficienza delle automobili" e chilometraggio percorso dalle auto (vedi Giannantoni 1999).

Anche nel secondo caso, dove si origina l'effetto di sostituzione fra risorse come conseguenza dello sviluppo tecnologico, è possibile constatare una contraddittorietà di esiti. Per chiarire i fenomeni legati all'effetto di sostituzione, ipotizziamo che venga scoperta una nuova tecnologia in grado di rendere impiegabile una *nuova risorsa* ambientale all'interno del sistema economico (p.e. petrolio, energia solare, biomasse residue, ecc.) (vedi Figura 3).

Supponiamo che il punto di partenza coincida con *a* e che l'esistenza della *risorsa tradizionale* non sia più ritenuta vitale per il sostentamento del sistema economico.

Può allora verificarsi il caso illustrato in Figura 3, in cui il sentiero di sviluppo del livello di vita segue il percorso *abd* (*sentiero tecnologico depauperante*), ossia comporti il

totale esaurimento della risorsa preesistente (*fase 1*) per giungere fino al livello di vita L_2 , dopo di che si verifichi l'effetto di sostituzione fra risorse (*fase 2*), per poi svilupparsi sul modello di *trade-off* della nuova risorsa (*fase 3*) (vedi Figura 3).

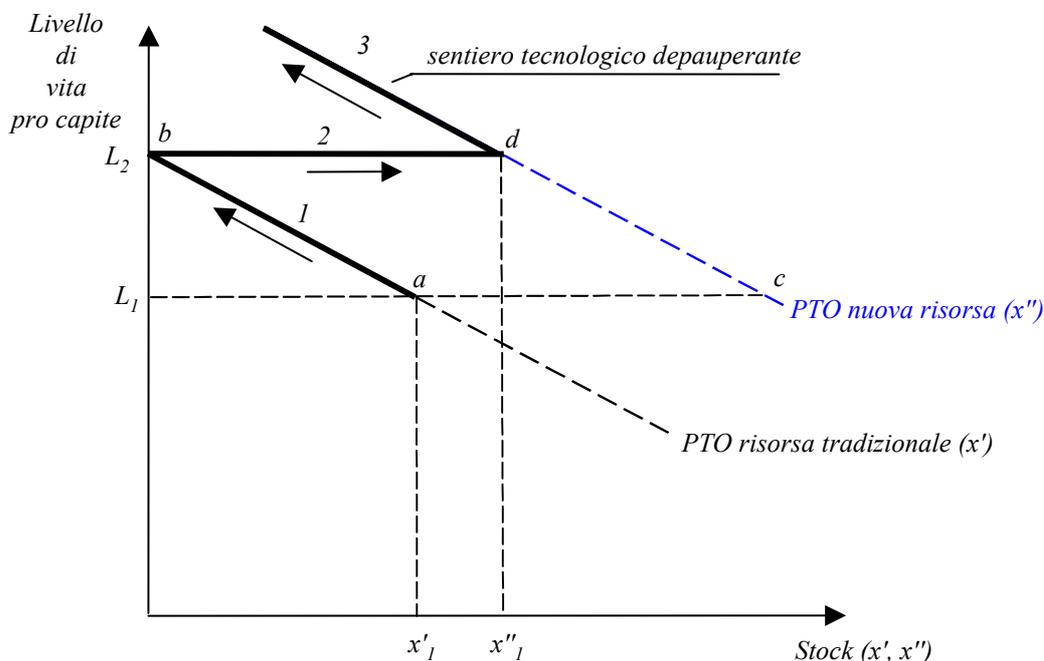


Figura 3 - Effetto depauperante dello sviluppo tecnologico

In alternativa, nell'ipotesi che la conservazione della *risorsa tradizionale* sia ritenuta vitale, indipendentemente dal suo sfruttamento all'interno del sistema economico (con l'attribuzione di un *valore di esistenza*⁵), e sempre nell'ipotesi che il punto di partenza coincida con *a*, (vedi Figura 4) si può verificare una sostituzione immediata della *risorsa tradizionale* con la *nuova risorsa (fase A)*, in relazione alla consapevolezza che la *risorsa tradizionale* possa essere, in futuro, ancora vitale per il *sistema economico (sentiero tecnologico conservativo)*, a cui seguirà uno sviluppo del livello di vita sul modello di *trade-off* della *nuova risorsa (fase B)* in Figura 4).

Nel caso dell'energia, l'effetto di sostituzione delle risorse, è dovuto all'impiego di risorse rinnovabili, rappresentate dalle biomasse agro-forestali, in sostituzione di risorse non rinnovabili, rappresentate dai combustibili fossili quali il metano, il gasolio, il GPL ed il kerosene; mentre l'effetto incrementale dell'efficienza d'uso è conseguenza dell'impiego di *energy saving technologies* ossia di *macchine termiche* per la produzione di calore e di energia elettrica che consentono il raggiungimento di maggiori rendimenti nel processo di trasformazione.

A questi effetti indotti da mutazioni nel contesto tecnologico del sistema economico, si contrappongono modificazioni legate allo sviluppo demografico della popolazione che risiede in un determinato ambiente.

⁵ Vedi Casini 1993, Marinelli et al. 1990, Pearce e Turner 1989.

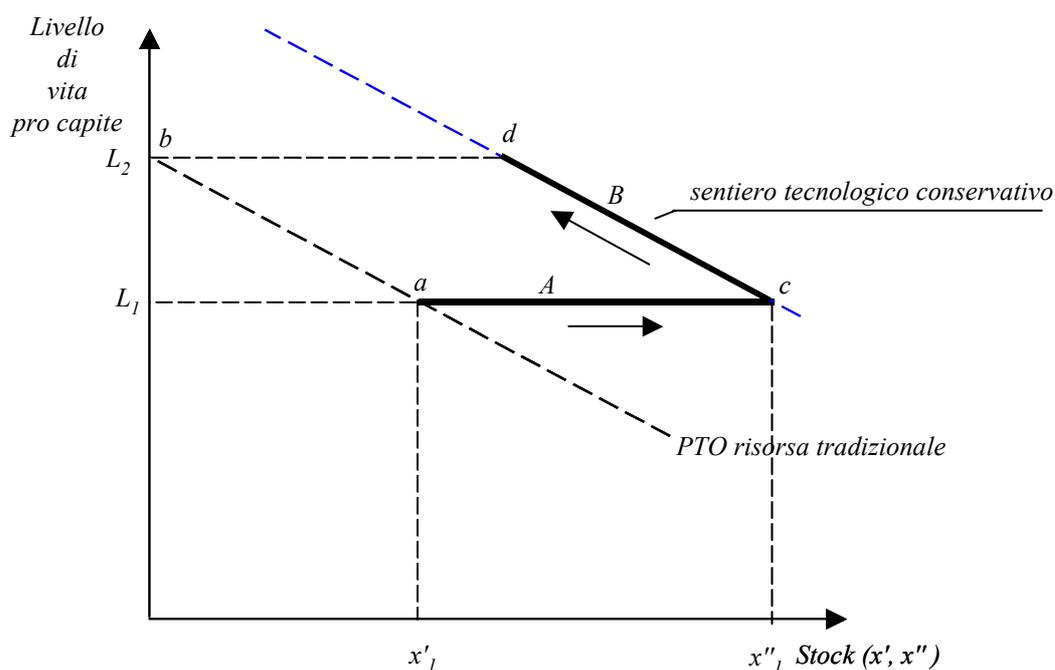


Figura 4 - Effetto conservativo dello sviluppo tecnologico

In linea di principio si può infatti assumere che un incremento demografico abbia conseguente negative sul livello di vita poiché anche se è pur vero che è possibile sostenere un certo livello di vita con una quantità minore di *inputs* nel tempo (vedi Pearce e Turner 1989), è anche vero che il rapido incremento della popolazione, porta ad un aumento della domanda di risorse che può annullare velocemente i guadagni fatti in termini di efficienza nell'uso delle risorse, vanificando anche il favorevole effetto derivato dalla sostituzione delle risorse.

Il problema delle interazioni fra uso delle risorse e variazioni demografiche appare complesso, poiché alti incrementi di popolazione si hanno soprattutto nei paesi meno sviluppati, dove l'apporto di tecnologie può essere anch'esso complesso in relazione alle difficoltà di introduzione delle stesse.

Nel nostro Paese invece, dove l'incremento demografico è basso, se non nullo, si verificano concomitanti fenomeni di flussi migratori che possono produrre effetti analoghi a quelli determinati dagli incrementi demografici.

I benefici ambientali derivati dall'uso delle biomasse per scopi energetici

Il progressivo sviluppo di tecnologie *energy saving* nel settore della trasformazione di biomasse per scopi energetici, ha portato sia ad una graduale riduzione degli effetti inquinanti connessi alla combustione imperfetta di legname e residui ligno-cellulosici, sia all'incremento dei rendimenti nei processi di trasformazione.

Le moderne caldaie impiegate negli impianti termo-elettrogeneratori e negli impianti di riscaldamento domestico ed industriale permettono infatti un abbattimento delle emissioni inquinanti paragonabile a quello di caldaie alimentate a combustibili gassosi. Tale effetto è ancora più evidente se andiamo a confrontare le emissioni prodotte dalla combustione di biomasse ligno-cellulosiche, come la legna da ardere ed il cippato, con combustibili fossili come il gas naturale. In questo caso osserviamo che le emissioni prodotte con la combustione delle biomasse sono prossime, se non addirittura inferiori, a quelle del metano (vedi Figura 5). Si tratta però di una comparazione non esaustiva perché fondata sul confronto del solo processo di combustione e non dell'intero ciclo di produzione e trasformazione dei combustibili.

Indicazioni più dettagliate sui benefici ambientali derivati dalla sostituzione di combustibili fossili con biocombustibili (*biopower*) sono emerse da un recente studio dell'Öko-Institut di Berlino che ha sviluppato un modello matematico, denominato GEMIS4, in grado di stimare i bilanci delle sostanze inquinanti per l'intero ciclo di vita dei combustibili.

In Figura 6, sono illustrati i risultati ottenuti con l'applicazione del modello GEMIS4 ai cicli vitali di tre combustibili: gasolio, metano e pellets. La simulazione ha evidenziato un sostanziale contenimento delle emissioni nel caso di impiego di combustibili ligno-cellulosici (pellets), mentre ha messo in luce elevati livelli di emissioni di CO₂ e SO_x nel caso di uso di gasolio. Se valutiamo il solo bilancio della CO₂, possiamo sicuramente affermare che nel ciclo vitale dei pellets le immissioni in atmosfera sono praticamente trascurabili, mentre sono molto rilevanti per i cicli vitali degli oli combustibili.

E' quindi evidente che il principale effetto ambientale generato dalla "surrogazione energetica", realizzata con l'impiego di biocombustibili in sostituzione dei combustibili fossili, è legato alla forte riduzione di gas serra come la CO₂.

Dimostrato che l'impiego di biomasse, siano esse di origine agronomica che forestale, induce una contrazione delle emissioni di sostanze inquinanti in atmosfera, ci troviamo di fronte ad un problema legato alla multifunzionalità delle aree forestali. Come sottolineato dallo stesso Kahn (1998), le formazioni boschive rappresentano una risorsa mista in parte classificabile come risorsa rinnovabile utilizzabile ad esempio a fini energetici, ed in parte come risorsa ambientale indivisibile che costituisce la struttura portante degli ecosistemi rurali.

Sorge quindi il problema di come bilanciare i benefici derivati dalle utilizzazioni forestali e dalla preservazione del bosco.

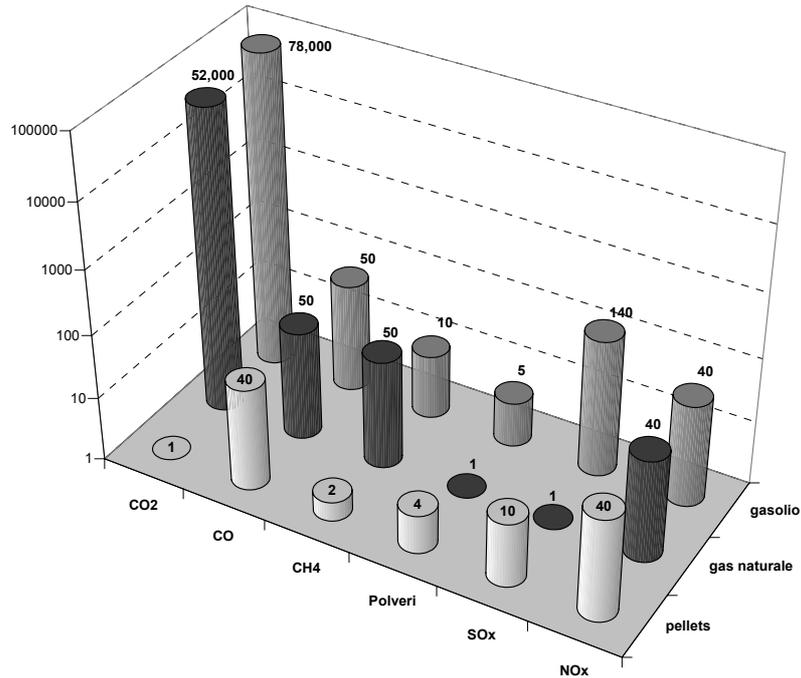


Figura 5 - Comparazione delle emissioni gassose di alcuni inquinanti da combustione in impianti alimentati con combustibile fossile e legno cippato (mg/MJ)

Fonte: Rapporto sull'energia 1990 del Governo austriaco

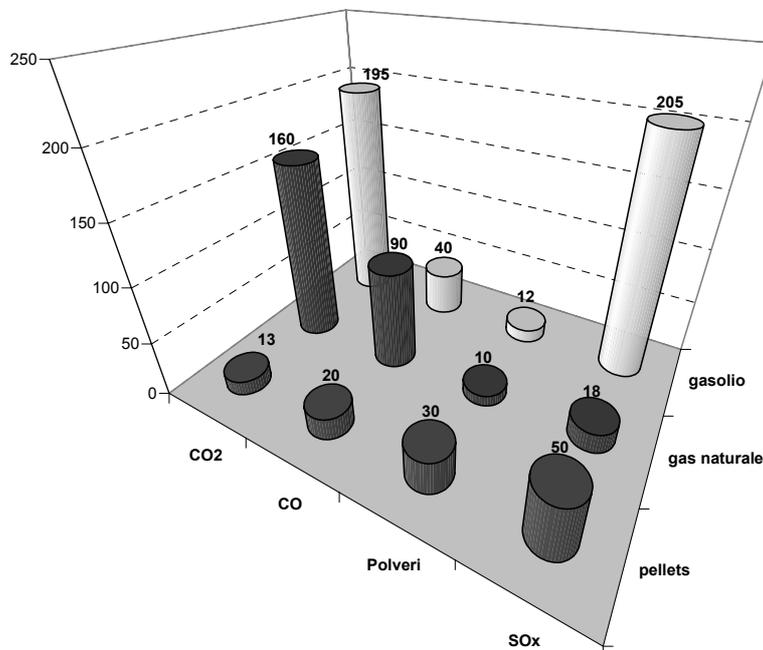


Figura 6 - Comparazione delle emissioni gassose di alcuni inquinanti da combustione in impianti alimentati con combustibile fossile e legno cippato (in kg/anno e t/anno per la CO₂)

Alcuni ambientalisti ritengono che il taglio e l'utilizzazione delle risorse forestali pregiudichi l'espletamento delle funzioni di habitat, di regimazione delle acque superficiali e la fissazione del biossido di carbonio presente in atmosfera, compromettendo seriamente le disponibilità e le funzionalità future⁶. Ciò è senz'altro vero se il taglio delle aree forestali viene eseguito senza vincoli di "sostenibilità ambientale", ma è altrettanto vero che se osserviamo i flussi di carbonio da e verso l'atmosfera determinati dalla sospensione delle utilizzazioni nei boschi cedui e dalla contestuale introduzione di combustibili fossili (come il gasolio), osserviamo che i benefici netti iniziali determinati dalla sospensione del taglio del bosco si ridurranno progressivamente per poi annullarsi con il graduale accrescimento dello *stock* di biomassa.

Per chiarire meglio questo fenomeno è utile citare un esempio applicativo legato alle modificazioni del ciclo del carbonio indotte dalla conversione di un impianto termico domestico alimentato a legna da ardere con un impianto alimentato a gasolio (Hellrigl, 2002).

Attraverso tale applicazione sarà possibile esaminare quanto segue:

- gli effetti di breve periodo generati dalla sostituzione dei combustibili;
- gli effetti di lungo periodo legati all'evoluzione dei flussi di carbonio conseguenti all'abbandono del bosco ceduo ed alla contestuale introduzione dei combustibili fossili.

Effetti di breve periodo generati della sostituzione di legna da ardere con gasolio

Come già anticipato, un recente studio condotto da Hellrigl nel 2002, ha esaminato gli effetti prodotti dalla conversione di un impianto di riscaldamento domestico, sia in termini di bilancio del carbonio sia dal punto di vista energetico. La simulazione è stata effettuata per un impianto installato in un appartamento di 150 m² di superficie situato in area montana⁷. Il fabbisogno termico annuo di tale immobile è stato stimato in circa 30 Gcal⁸ generate, nell'ipotesi iniziale, con un impianto di riscaldamento a biomassa (legna da ardere) che ha un rendimento termico di 0,75 (Figura 7).

Il corrispondente ciclo del carbonio, illustrati in Figura 7, indica che per soddisfare il fabbisogno termico dell'abitazione in oggetto è necessario utilizzare (tagliare) circa 20 m³ di biomassa fresca ogni anno, corrispondenti a circa 12 tonnellate di biomassa anidra (Hellrigl, 2002).

Si tratta di una quantità di biomassa legnosa che durante il suo accrescimento ha immagazzinato circa 6 tonnellate di carbonio circolante, cioè di carbonio già disponibile nell'ecosistema⁹.

⁶ Sulla base di tali presupposti vengono perseguiti obiettivi sia di preservazione e conservazione di boschi di alto fusto, sia di riconversione verso l'alto fusto di boschi cedui tradizionalmente destinati alla produzione di legna da ardere.

⁷ I risultati di tale applicazione sarebbero i medesimi anche se si trattasse di combustibili impiegati in un impianto termo elettro-generatore.

⁸ Giga Calorie (10⁹ calorie).

⁹ Ipotizzando:

- una densità basale di 0,6 tonnellate di biomassa anidra per metro cubo di sostanza fresca (tBA/m³)
- un fattore di conversione di 0,5 tonnellate di carbonio per tonnellata di biomassa anidra (0,5 tC/tBA), per la stima del contenuto di carbonio nella biomassa.

Alla produzione di legna da ardere sono però associate delle perdite di lavorazione, stimabili in circa il 20% della biomassa epigea, legate alle fasi di taglio, abbattimento, sramatura, depezzatura, ecc.. Nel caso in oggetto, si tratta di circa 4 m³ di ramaglia cui corrisponde una emissione di carbonio circolante in atmosfera pari a 1, 2 tC. A ciò si aggiunge l'emissione di *Carbonio nuovo* dovuto al consumo di circa 76 Kg di gasolio¹⁰ impiegato nelle fasi di utilizzazione e trasporto del materiale Hellrigl (2002).

I restanti 16 m³ di biomassa vengono convogliati all'impianto termico dove generano 1,2 tonnellate di carbonio per dispersione termica¹¹ e 3,6 tonnellate di carbonio per la produzione di calore utile all'immobile.

Dal punto di vista energetico, il sistema si compone di un input di circa 50,4 Gcal¹² generati dalle 12 tonnellate di biomassa anidra, a cui si aggiunge un input di 0,775 Gcal¹³ conseguente all'uso di combustibili fossili nelle fasi di utilizzazione e trasporto del prodotto. Gli output del sistema sono invece legati al calore generato dalla combustione del gasolio (0,775 Gcal), alla decomposizione dei residui forestali (circa 10 Gcal), alla dispersione termica dell'impianto (altre 10 Gcal circa) ed infine, all'energia termica utilizzata per il riscaldamento dell'immobile (circa 30 Gcal).

Se passiamo ad esaminare i bilanci relativi all'impianto alimentato a gasolio, osserviamo che essi subiscono una considerevole modificazione (Figura 8).

L'input di CO₂ è infatti ridotto a 3,82 tonnellate di *carbonio nuovo*, che è attualmente stoccato nel greggio dei giacimenti, mentre l'output è costituito da 0,64 tC consumate nei processi produttivi di estrazione, raffinazione e trasporto, cui si aggiungono 0,764 tC per dispersione termica e 3,56 tC per la produzione di calore utile per l'appartamento. L'esame del bilancio energetico, vede un Input di circa 45 Gcal, leggermente inferiore a quello dell'impianto a biomassa, ed un output costituito da incrementi di entropia generati dai processi di produzione e dall'impianto termico casalingo (con rispettivamente 7,6 Gcal e 7,55 Gcal, cui si aggiungono le 30 Gcal di calore utile per l'appartamento).

Se compariamo i bilanci complessivi dei due impianti osserviamo che l'impianto a biomassa ha un impatto pressoché "nullo" nei confronti dell'ambiente, poiché le uniche emissioni sono legate ai 0,065 tonnellate di *carbonio nuovo* generate nelle fasi di trasformazione del prodotto (Figura 9).

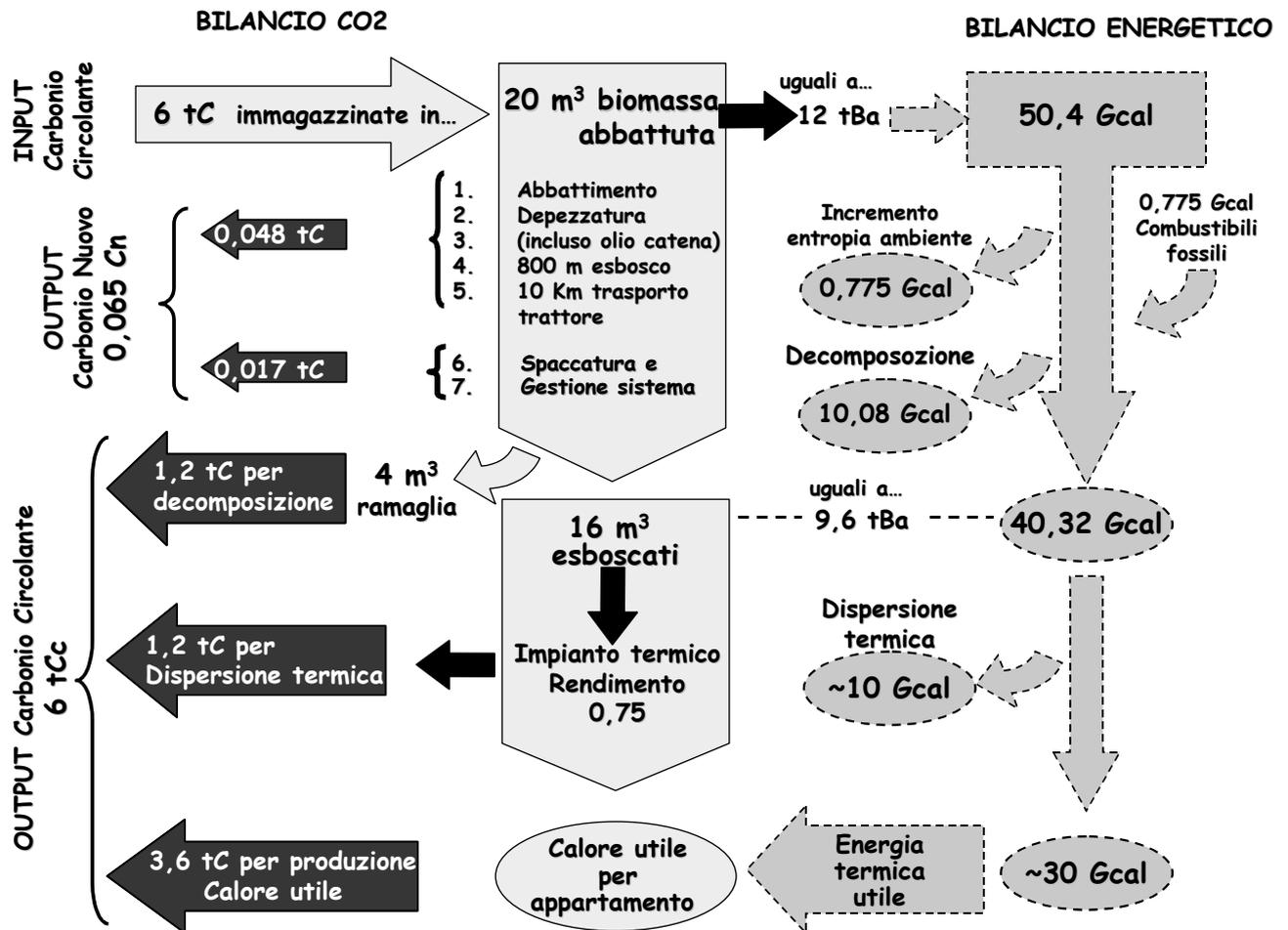
¹⁰ Inclusi i consumi di lubrificanti trasformati in *gasolio equivalente*.

¹¹ Ricordiamo che il rendimento $\eta = 0,75$.

¹² Ipotizzando:

- una densità basale di 0,6 tonnellate di biomassa anidra per metro cubo di sostanza fresca (tBA/m³)
- Un potere calorifico inferiore (p.c.i.) di 4,2 Gcal per tonnellata di Biomassa Anidra.
-

¹³ Considerando per il gasolio un p.c.i di 10.200 Kcal/Kg (Ministero Ambiente, 2001)



Legenda: tC = tonnellate di Carbonio
TBa = tonnellate di Biomassa Anidra
Gcal = Giga Calorie

Figura 7 - Bilancio del carbonio e bilancio energetico in impianti termici a biomassa

Nel caso della caldaia a gasolio abbiamo invece delle emissioni, anche se di minore entità (3,82 tC), totalmente imputabili a *carbonio nuovo* che viene introdotto nell'ambiente. Come sottolineato dallo stesso Hellrigl (2002), si tratta di un bilancio dell'atmosfera *fisicamente positivo e funzionalmente negativo* (Figura 9).

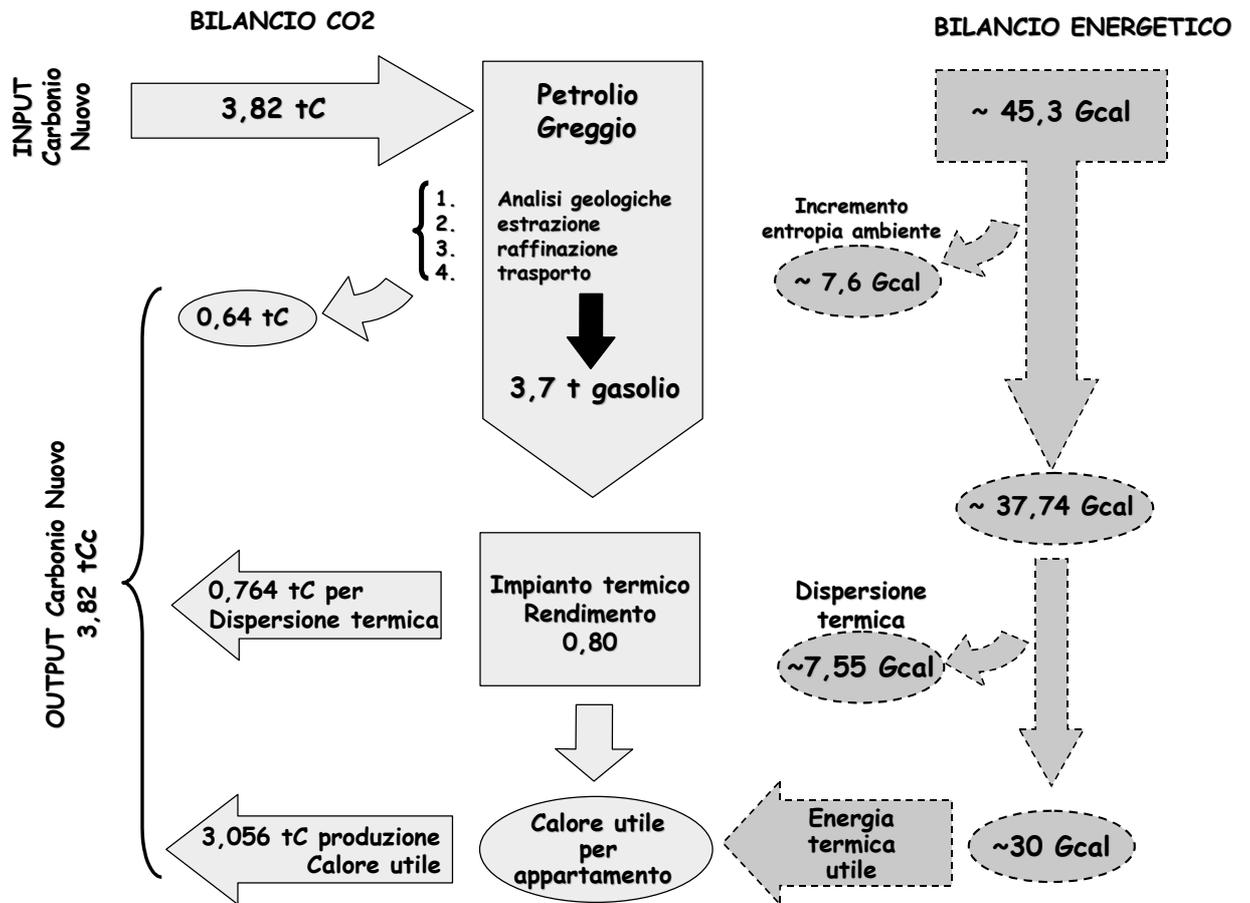


Figura 8 - Bilancio del carbonio e bilancio energetico in impianti termici a gasolio
Fonte: ns. elaborazione su dati Hellrigl 2002

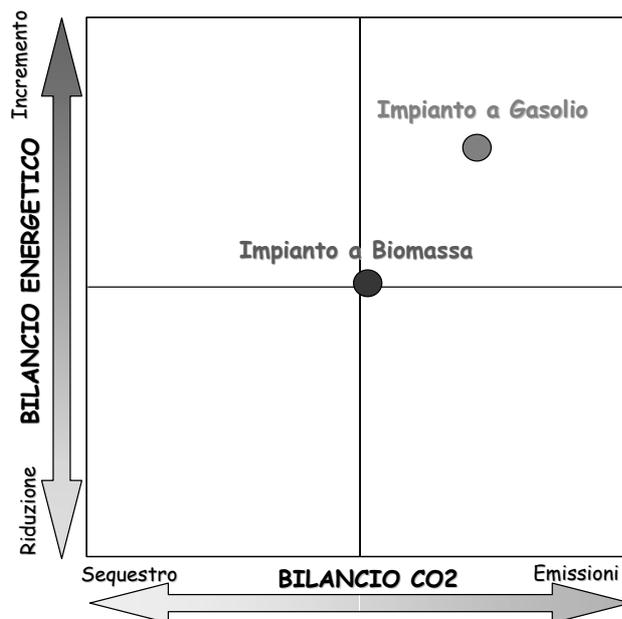


Figura 9 - Bilanci energetico e della CO₂ valutati rispetto all'ambiente

Effetti di lungo periodo generati della sostituzione di legna da ardere con gasolio

I risultati emersi fino ad ora hanno avallato il principio generale secondo cui l'impiego delle risorse rinnovabili ha un minor impatto ambientale rispetto alle risorse fossili.

Se però valutiamo, contestualmente alla conversione da biomasse a combustibili fossili, anche

la cessazione delle utilizzazioni nella compresa forestale¹⁵ che forniva i 20 m³ annui di legname, assistiamo ad un ribaltamento completo della situazione. Infatti, in questo caso abbiamo che la compresa assestata che prima forniva i 20 m³ di legname, effettua adesso un sequestro netto di carbonio pari a 6 tonnellate annue. Per contro, le emissioni di *carbonio nuovo* generate dalla combustione di gasolio sono pari a sole 3,82 tonnellate (Tabella 1).

Bilancio CO₂ atmosferica	
Assorbimento annuo nello <i>stock</i> di biomassa non più utilizzata	- 6,00 tC
Immissione di carbonio nuovo per attività impianto termico	+3,82 tC
Bilancio netto atmosferico	- 2,18 tC

Tabella 1 - Bilancio del carbonio determinato dalla sostituzione biopower-gasolio e abbandono del ceduo
Fonte: Hellrigl 2002

Ciò determina un virtuale beneficio contabile legato al fatto che la maggiore capacità di immagazzinamento della biomassa *neutralizza*, senza eliminarlo, il *carbonio nuovo* che va ad incrementare la quantità di carbonio circolante nell'ambiente (stante l'ipotesi che la compresa di ceduo esaminata rimanga indefinitamente a destinazione forestale).

Come abbiamo visto in precedenza, le capacità di assorbimento dei soprassuoli forestali non sono però costanti nel corso del tempo. Il bosco, come molte delle risorse rinnovabili, presenta una curva di accrescimento di tipo *logistico*, che contrappone agli elevati tassi di accrescimento iniziali, dei tassi progressivamente decrescenti, che andranno ad annullarsi quanto il bosco raggiungerà il livello di omeostasi o stato stazionario (*steady state*) (Odum, 1971) (Figura 10). Al contrario, il livello di emissioni prodotto dall'impianto alimentato a combustibili fossili sarà costante nel tempo (Figura 10, A). Gli effetti positivi determinati dalla sostituzione del *biopower* con combustibili fossili, andranno quindi ad annullarsi all'anno *B*, allorché la superficie sottesa al triangolo *OAB* (sommatoria cumulata delle emissioni generate dall'impianto alimentato a gasolio), avrà eguagliato quella sottesa alla curva *OCB* (sequestro netto cumulato di carbonio atmosferico operato dal ceduo

¹⁴ Bosco con struttura normale (vedi Patrone 1944), ossia costituito, nel caso di boschi coetanei, da un insieme di particelle a compresa forestale (insieme di particelle assestate) che presenta uno *stock* di biomassa ed un prodotto pressoché costanti nel tempo ; nel caso di boschi disetanei, da una mescolanza per piccoli gruppi o per piede d'albero di soggetti di età diversa.

¹⁵ Bosco con struttura normale (vedi Patrone 1944), ossia costituito, nel caso di boschi coetanei, da un insieme di particelle a compresa forestale (insieme di particelle assestate) che presenta uno *stock* di biomassa ed un prodotto pressoché costanti nel tempo ; nel caso di boschi disetanei, da una mescolanza per piccoli gruppi o per piede d'albero di soggetti di età diversa.

abbandonato). Dal momento *B* in poi, gli effetti positivi generati dall'abbandono del ceduo saranno annullati, e le emissioni di carbonio derivate dalla combustione del gasolio andranno a incrementare lo *stock* di *carbonio circolante* presente in atmosfera (Figura 10).

Hellrigl ha stimato che a partire dal 139 anno di abbandono del ceduo e contemporanea sostituzione dell'impianto di riscaldamento a biomassa con quello a gasolio, vengono definitivamente a cessare i benefici per l'atmosfera.

Indipendentemente dagli assunti che stanno alla base di tale valutazione è interessante osservare che l'abbandono delle utilizzazioni nelle aree forestali, dopo un'iniziale beneficio ambientale determinato dalla creazione di un *giacimento ecologico* di CO₂ costituito dal bosco, produce, nel lungo periodo, un nocimento all'ecosistema terrestre dovuto all'immissione in atmosfera di quote crescenti di *carbonio nuovo*. Questo perché per soddisfare la crescente domanda di energia termica delle popolazioni sarà necessario introdurre sistemi di riscaldamento alimentati con combustibili fossili.

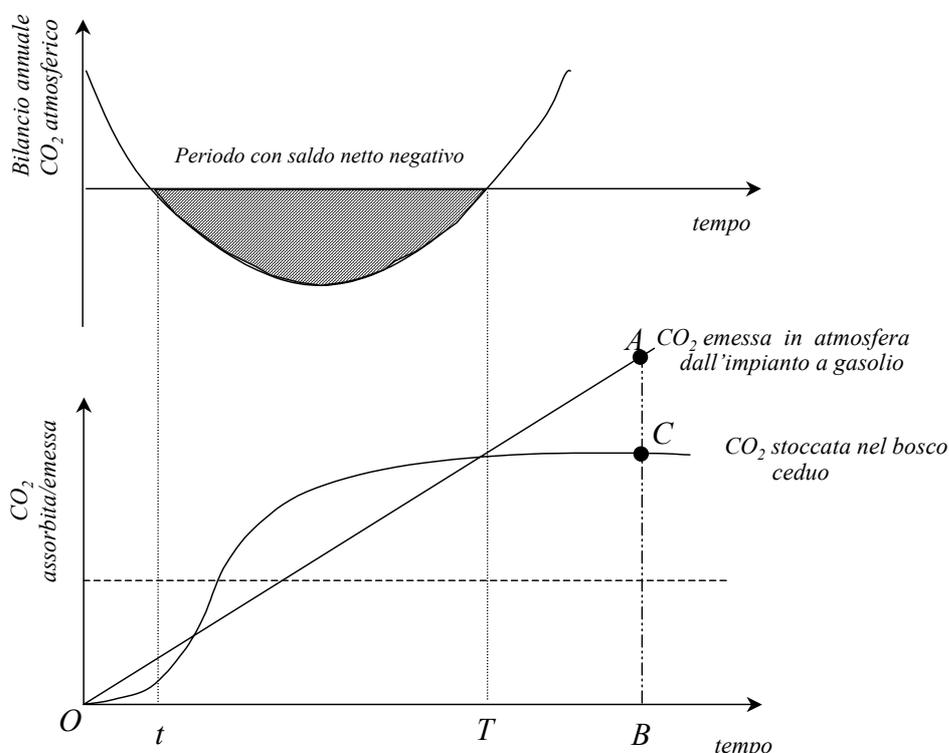


Figura 10 - Variazione del bilancio del carbonio nel corso del tempo

Gli effetti ambientali prodotti dallo sviluppo dei biocombustibili e di *energy saving technologies*, possono quindi riassumersi come segue:

- contrazione degli input di *carbonio nuovo* in atmosfera grazie all'impiego sostenibile¹⁶ di biomasse "preesistenti" (es. boschi cedui, residui agro-forestali, ecc.) in sostituzione

¹⁶ Secondo il rapporto Brundtland, lo sviluppo sostenibile «è quello che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri». Tale definizione contestualizzata nell'ambito forestale si determina nell'offerta sostenibile di biomassa (per ettaro). In pratica si concretizza nella

dei combustibili fossili utilizzati nei processi di produzione di energia termica ed elettrica;

- sviluppo di nuovi *giacimenti ecologici* di carbonio in grado di *stoccare* parti consistenti della CO₂ atmosferica grazie all'introduzione di superfici boscate in aree agricoli marginali (effetto di breve periodo), e ulteriore contrazione degli input di *carbonio nuovo* non appena sarà attivata la produzione di biocombustibili anche nelle nuove aree boscate (effetto di lungo periodo);
- esaltazione dell'effetto di contrazione degli input di *carbonio nuovo* in atmosfera grazie all'impiego di *energy saving technologies*, ossia di tecnologie in grado di utilizzare in modo più efficiente le risorse rinnovabili generando un effetto moltiplicativo dei risultati ottenuti con le precedenti azioni.

Un tentativo di quantificare gli effetti ambientali suddetti, è stata recentemente condotto dall' Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT) e dal Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali dell'Università di Padova. Il gruppo di ricerca ha messo a punto un modello dinamico in grado di stimare il carbonio fissato sotto quattro forme: alberi, sottobosco, lettiera e suolo. Il modello, denominato Csem (*Carbon Stock Evaluation Model*), ha stimato, per le diverse formazioni forestali presenti sul territorio italiano, una quantità totale di carbonio fissato pari a 1.127 milioni di tonnellate (all'anno 1999), di cui: il 46% nel suolo, un altro 46% nella parte epigea e ipogea della vegetazione, un 7% nella lettiera ed il restante 1% nel sottobosco. Le maggiori percentuali di carbonio sono temporaneamente fissate nei boschi di latifoglie (60% del totale) e nei boschi di conifere (16% del carbonio totale), mentre nelle formazioni miste e nelle "altre formazioni" si individuano rispettivamente il 9% ed il 15% del carbonio totale. Hanno inoltre stimato che l'effetto congiunto legato all'abbandono delle utilizzazioni forestali (effetto di crescita naturale delle foreste) e di espansione della superficie forestale sui terreni abbandonati dall'agricoltura (in Italia circa 15.000 ettari ogni anno), ha creato, negli ultimi dieci anni, un *sink* netto di carbonio pari a circa 150 milioni di tonnellate di carbonio.

Ne consegue che, una attenta politica di promozione e sviluppo delle risorse forestali in aree agricole marginali, può permettere lo sviluppo di politiche energetiche che garantiscano sia lo sviluppo rurale sia la tutela ambientale delle aree svantaggiate. Il ruolo assunto dalle formazioni boschive nella fissazione di carbonio può infatti costituire un'occasione per rivalutare l'apporto del settore forestale nella politica italiana di sviluppo rurale e contenimento dei cambiamenti climatici.

relazione esistente fra tasso di accrescimento della risorsa \dot{x}_q e *stock* della risorsa "bosco" x_q (Bernetti, 1999, Fagarazzi, 1999).

BIBLIOGRAFIA

BERNETTI I., (1999) Il mercato delle biomasse forestali per scopi energetici: un modello di offerta, In corso di stampa su Rivista di Economia Agraria.

CASINI L., (1993) La valutazione economica degli effetti dell'istituzione di un parco: l'analisi dell'impatto sull'economia locale. Rivista di Economia Agraria XLVIII (1):95-129.

ENEA, 2001, Riscaldamento dei grandi edifici con combustibili legnosi: informazioni tecniche di base. ENEA

GIANNANTONI C., (1999) Studi su energia, ambiente, economia e patrimonio naturale, Innovazione e ambiente, Energia Ambiente e Innovazione n.1 1999, .ENEA.

HELLRIGL B., (2002) Bilancio del carbonio: conseguenze di un cambiamento di combustibile in un riscaldamento domestico. Sherwood n. 84

JEVON W.S., (1865) The coal question, London.

KHAN J. R., (1998) The economic approach to environmental and natural resources, Dryden Press, Orlando, U.S.

LABELAB, (2002), Scheda monografica di sintesi: Produzione di energia da fonti rinnovabili; la Biomassa, Labelab srl 2002, <http://www.energiyalab.it/frames/Sezione.asp?Sez=19>

MARINELLI A., (a cura di) (1990) La valutazione economica della ricreazione all'aperto: il caso del Parco dell'Orecchiella (Lucca), D.E.E.A.F. Università degli Studi di Firenze.

MARINELLI A., ROMANO D., (1987) Una valutazione della funzione turistico ricreativa e la sua utilizzazione nella gestione di una foresta ad uso multiplo, Rassegna Economica, a. LI (3):515-530

ODUM, E. P., (1971) Fundamentals of ecology. 3th edition. Saunders Company, Philadelphia, London, Toronto.

PATRONE G. (1944) Lezioni di Assestamento Forestale, Tipografia Mariano Ricci, Firenze.

PEARCE D. W., TURNER R. K., (1989) Economics of natural resources and the environment, Hemel Hempstead, Harvester and Wheatsheaf.

PIETROGRANDE P., MASULLO A., (2003), Energia Verde per un Paese "rinnovabile", Franco Muzzio

