



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

**FACOLTÀ DI ECONOMIA**  
**DIPARTIMENTO DI MANAGEMENT**

**DOTTORATO IN MANAGEMENT, BANKING**  
**AND COMMODITY SCIENCES**  
**XXX ciclo**

**Curriculum: Commodity Sciences**  
**Coordinatore: Prof. Franco Tutino**

**TECNOLOGIE INNOVATIVE E UTILIZZO DI MATERIE PRIME**  
**SECONDE PER L'ACCESSO ALL'ENERGIA.**  
**CASO STUDIO: COMUNITÀ RURALI IN KENYA.**

**Tutor:**  
**Prof.ssa Giuliana Vinci**

**Dottoranda:**  
**Dott.ssa Martina Musarra**



## INDICE

<b>Introduzione .....</b>	<b>7</b>
---------------------------	----------

### CAPITOLO 1

#### LO SVILUPPO SOSTENIBILE

<b>1.1 La teoria neoclassica della crescita e i suoi limiti .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Lo sviluppo sostenibile e le quattro dimensioni.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3 Sostenibilità forte e debole e la crescita economica.....</b>	<b>22</b>
<i>1.3.1 Sostenibilità debole.....</i>	<i>22</i>
<i>1.3.2 Sostenibilità forte.....</i>	<i>23</i>
<b>1.4 Misure integrate per il calcolo degli indicatori di benessere .....</b>	<b>25</b>
<b>1.5 La Qualità della vita e il benessere economico: approcci metodologici .....</b>	<b>30</b>
<i>1.5.1 Misure soggettive.....</i>	<i>31</i>
<i>1.5.2 Misure oggettive .....</i>	<i>34</i>
<b>1.6 Salute, Educazione e Ambiente come variabili di benessere .....</b>	<b>37</b>
<i>1.6.1 Salute .....</i>	<i>38</i>
<i>1.6.2 Educazione.....</i>	<i>40</i>
<i>1.6.3 Ambiente .....</i>	<i>43</i>

## CAPITOLO 2

### LE MATERIE PRIME ENERGETICHE

<b>2.1 La classificazione merceologica delle materie prime .....</b>	<b>46</b>
<b>2.2 Le Materie Prime Energetiche.....</b>	<b>48</b>
<i>2.2.1 Le Materie Prime Energetiche Minerarie .....</i>	<i>50</i>
<i>2.2.1 Le Materie Prime Energetiche Vegetali .....</i>	<i>54</i>
<b>2.3 Domanda Energetica e Impatto Ambientale .....</b>	<b>60</b>
<b>2.4 Le Biomasse come fonte di sviluppo sostenibile per l'accesso all'energia.....</b>	<b>66</b>
<i>2.4.1 Salute .....</i>	<i>71</i>
<i>2.4.2 Educazione.....</i>	<i>79</i>
<i>2.4.3 Ambiente .....</i>	<i>86</i>

## CAPITOLO 3

### STRUMENTI DI ANALISI

<b>3.1 Il Modello DPSIR e gli indicatori ambientali .....</b>	<b>94</b>
<b>3.2 Il modello statistico della mediation analysis.....</b>	<b>102</b>

## CAPITOLO 4

### CASO STUDIO: IL DISTRETTO DI MACHACOS

<b>4.1 Il Kenya</b> .....	109
4.1.1 <i>Qualità della vita e il benessere economico</i> .....	112
4.1.2 <i>Le biomasse tradizionali e l'accesso all'energia</i> .....	119
4.1.3 <i>Sistemi a biomasse e potenzialità di applicazione</i> .....	120
<b>4.2 Il distretto di Machacos</b> .....	126

## CAPITOLO 5

### APPLICAZIONE DEI METODI

<b>5.1 Biodigestori di tipo flessibile: tecnologie innovative</b> .....	130
<b>5.2 La comunità rurale di Iiani</b> .....	134
<b>5.3 Analisi qualitativa: il modello DSPIR</b> .....	142
<b>5.4 Analisi quantitativa: il modello della mediation analysis</b> .....	145
<b>5.3 Risultati ottenuti</b> .....	158
<b>Conclusioni</b> .....	167
<b>Bibliografia</b> .....	172
<b>Sitografia</b> .....	188

**Appendice 1** ..... 190

## Introduzione

Le teorie economiche neoclassiche hanno posto l'attenzione sulla scarsità delle risorse naturali come fattore limitante per la crescita economica continua. Solow (1956) infatti evidenzia nei suoi modelli economici i problemi di equità intertemporale fra le diverse generazioni a causa della distribuzione intergenerazionale delle possibilità di consumo, strettamente correlate alle risorse naturali. Così dagli anni '60 del XX secolo, la comunità internazionale inizia un percorso condiviso per definire nuovi modelli di crescita basati su una gestione responsabile delle risorse naturali.

Fattori come la crescita economica, l'equa distribuzione delle risorse, il benessere economico e la qualità della vita vengono così integrati in un modello di sviluppo di crescita sostenibile, per definire nuovo rapporto tra economia ed ambiente secondo una prospettiva di medio-lungo periodo. Il nuovo paradigma permette così di integrare indicatori qualitativi e quantitativi all'interno di uno stesso sistema per raggiungere efficienti risultati di sviluppo e crescita sostenibile (Daly, 2001). Poiché un ambiente degradato e depauperato nelle sue risorse non può garantire uno sviluppo durevole e socialmente accettabile, oggi giorno la protezione dell'ambiente non viene più considerata un vincolo allo sviluppo, bensì una condizione necessaria per uno sviluppo duraturo (Maccarella, 2009). I due modelli di sviluppo sostenibile simili per caratterizzazione dei fattori che compongono la funzione (ovvero la dimensione economica, ambientale, sociale e istituzionale), ma profondamente diversi per regola e applicazione sono il modello della sostenibilità forte ed il modello della sostenibilità debole. La differenza tra i due sistemi risiede nel valore attribuito al capitale naturale, poiché la sua variazione compromette in maniera significativa il modello di sviluppo sostenibile applicato all'interno di un sistema di politiche attuative per garantire

risultati efficaci ed effettivi in materia di crescita e progresso consapevole. Per poter calcolare le variabili che compongono le funzioni dello sviluppo sostenibile forte e debole, vengono utilizzate delle misure integrate che servono a monitorare le variabili correlate al miglioramento della qualità della vita, includendo tutta la gamma di fattori che rendono la vita degna di essere vissuta, compresi quelli che non sono negoziati nei mercati finanziari e non sono catturati da misure monetarie, come ad esempio variabili ambientali. Infatti, mentre alcune estensioni della contabilità economica includono elementi aggiuntivi che modificano la qualità della vita basandosi meramente su misure convenzionali come il reddito, l'approccio della qualità della vita aggiunge indicatori che non rientrano nella dimensione economica scalare generale, ma vanno a migliorare gli indici di calcolo della teoria del benessere economico.

Dalla Commissione Europea sono stati definiti due approcci concettuali per poter misurare la qualità della vita in un Paese in maniera più efficiente rispetto al calcolo del PIL. Il primo metodo è prettamente *soggettivo* ed utilizza strumenti tradizionali dei quali si servono economisti e statisti per attribuire dei valori a determinati aspetti della nostra società. Tali aspetti riguardano caratteristiche personali dei soggetti, oggetto della valutazione che determinano, attraverso risposte personali ad un panel di domande, preferenze relative a scelte di mercato che si riflettono e modificano la nostra economia e la società.

Il secondo metodo invece è essenzialmente *oggettivo*, basato sul soddisfacimento di bisogni che rientrano all'interno della categorizzazione fornita da Maslow nel 1954, con l'obiettivo di attribuire un punteggio alle condizioni oggettive rappresentate ai vertici della piramide. Aspetti dell'economia e della società hanno una importanza specifica per fornire delle misure effettive della qualità della vita di individui allocati in un determinato Paese.

Con l'obiettivo di definire un modello integrato per il calcolo dell'indice di benessere di una popolazione, sono state composte tre variabili che devono essere considerate nella funzione finale del benessere. Queste variabili danno una valutazione del grado di soddisfazione di una popolazione e riguardano l'indice di salute, il grado di educazione e la salute dell'ambiente.

Con l'obiettivo di comprendere l'integrazione delle dimensioni dello sviluppo sostenibile con l'indice di salute, il grado di educazione e la salute dell'ambiente nella popolazione, è stato analizzato il settore energetico. Il settore energetico compone la sua offerta principalmente sui combustibili fossili, provocando il rilascio nell'atmosfera di elevate quantità di gas climalteranti, quali anidride carbonica, metano, protossido di azoto e zolfo. L'impegno internazionale riguardo la riduzione delle emissioni relative al settore ha preso forma con l'Accordo di Parigi sul cambiamento climatico, entrato in vigore nel novembre 2016. Considerato come una svolta storica nella politica internazionale del clima, l'Accordo di Parigi ha definito una risoluzione firmata ad ottobre da 192 Paesi e ratificata da 115, che insieme rappresentano il 79% delle emissioni globali, con l'obiettivo mantenere l'aumento della temperatura sotto i 2 °C. Dunque, se da un lato il settore energetico preoccupa per il rilascio di sostanze nocive per la popolazione e per l'ambiente, dall'altra parte 2.2 miliardi di persone a livello mondiale sono ancora legate all'utilizzo di biomasse per la generazione di energia. Sebbene i Paesi industrializzati considerino le biomasse una fonte di energia versatile poiché da esse si possono generare combustibili solidi, liquidi e gassosi, i Paesi in via di sviluppo dipendono per il 65% della domanda totale da fonti energetiche legate alla biomassa tradizionale, nonostante i problemi di salute e ambientali associati alla sua combustione inefficiente (Ruiz-Mercado et al., 2010).

La materia organica di origine vegetale infatti, come il legno e/o il carbone, viene utilizzata nei PVS e nelle zone rurali come fonte primaria di energia (Sander, 2011): è maggiormente impiegata per cucinare, per il riscaldamento della casa (o per riscaldare l'acqua a scopi igienici) e per altri scopi domestici, per la lavorazione agricola ed anche per l'industria, poiché è una materia prima gratuita, facilmente accessibile e immediatamente disponibile. Le biomasse tradizionali rappresentano la fonte principale di energia primaria domestica ed alcuni degli aspetti problematici connessi all'utilizzo della biomassa tradizionale con tecnologie scarse o inefficienti, includono problemi legati alla salute (inalazione del fumo), all'inquinamento dell'atmosfera e a fenomeni di deforestazione.

Il presente lavoro analizza il caso studio di una comunità rurale del Kenya, localizzata nel distretto di Machakos (Iiani), per mezzo di strumenti qualitativi e quantitativi con l'obiettivo di mettere in evidenza le problematiche relative all'utilizzo da parte della popolazione di biomasse di origine legnosa in funzione della dimensione ambientale, sociale ed economica. Il modello DSPIR viene utilizzato per definire il problema secondo un metodo oggettivo, mentre il modello statistico della mediation analysis viene utilizzato per ottenere dei risultati che evidenzino i rapporti causali tra l'utilizzo delle biomasse di origine legnosa con le dimensioni dello sviluppo sostenibile. Come soluzione per la sostituzione delle biomasse di origine legnosa con residui agricoli ed agro-alimentari viene analizzato un biodigestore di tipo flessibile brevettato da un'azienda operante a Nairobi, in Kenya. L'innovazione tecnologica richiede un basso livello di tecnologia e bassi tempi di installazione per poter produrre l'energia necessaria a svolgere le mansioni domestiche nelle aree rurali. L'impianto contribuisce a migliorare l'accesso della popolazione a sistemi di smaltimento che di conseguenza apportano benefici anche alle condizioni igienico-sanitarie.

# CAPITOLO 1

## LO SVILUPPO SOSTENIBILE

### 1.1 La teoria neoclassica della crescita e i suoi limiti

La teoria neoclassica della crescita ha come obiettivo quello di spiegare il costante aumento del reddito pro-capite avendo come base del modello una crescita della produzione costante. La teoria della crescita si basa sulle ricerche di economisti come Ramsey (1928), Swan (1956) e Solow (1956 e 1957), che analizzano il ruolo del risparmio per il conseguimento della massima utilità. Il modello considera anche la variabile tecnologica che permette così di incrementare la produzione di intervalli costanti. Per tale ragione, il presente modello viene indicato anche come teoria della crescita esogena, poiché tali vengono considerati i parametri che permettono al sistema di ritornare nuovamente in equilibrio in modo spontaneo. Questa teoria assume come dati i fattori che determinano la crescita economica e le circostanze che ne favoriscono l'avvio e successivamente ne sostengono la continuità.

All'interno di tale teoria, Solow analizza le condizioni e le proprietà dei fattori che permettono al sistema di restare in equilibrio, ovvero di protendere sempre alla crescita. Così, la teoria neoclassica della distribuzione indica che, per le imprese che operano in un mercato in cui vige un regime di concorrenza perfetta, la condizione di massimizzazione del profitto è il fattore che determina il bilanciamento tra capitale e lavoro. La teoria neoclassica quindi, basa la sua effettività sul concetto economico-monetario, considerando come fattore esterno solo l'accesso alla tecnologia. Negli anni '70 Solow definisce un modello di crescita economica estendendo il concetto di

utilità marginale al costo dei fattori della produzione, definendo la dipendenza di questi ultimi dalla produttività marginale. Poiché il costo attribuisce un valore alla scarsità relativa del bene, il prezzo dello stesso sarà così determinato dalla quantità disponibile sul mercato.

I modelli di crescita neoclassici si basano sulla seguente funzione di produzione:

$$Y = f(K, L) \quad (1)$$

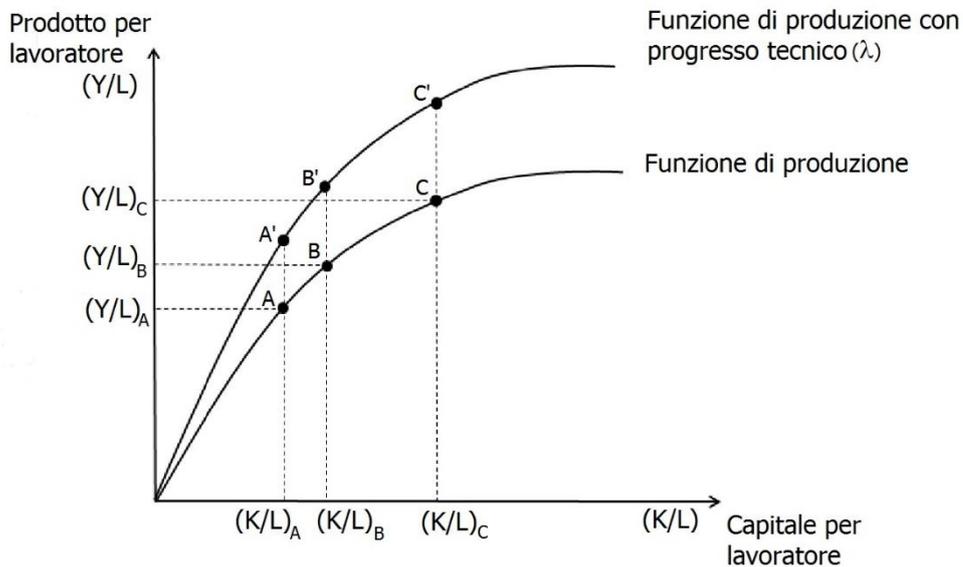
Nella (1), il sistema  $Y$  rappresenta la funzione di produzione, derivante dalla combinazione dei due fattori della produzione, capitale ( $K$ ) e lavoro ( $L$ ), tra loro perfettamente sostituibili. Se i due fattori variano nella stessa proporzione, si avranno rendimenti di scala costanti; se aumenta la quantità di un fattore, restando invariata quella dell'altro, si avranno rendimenti marginali decrescenti.

Secondo la teoria della crescita inoltre, l'investimento è funzione dei risparmi disponibili ed il tasso di crescita effettivo dovrà essere sempre uguale a quello garantito: ciò sta a significare che la variabile “*coefficiente di capitale*”,  $v$ , non è costante, ma dipende dalle combinazione tra capitale e lavoro. Dunque, il modello definisce i meccanismi di mercato che assicurano l'equilibrio e direzionano la crescita all'interno di un sistema semplice, non considerando né il progresso tecnico né l'aumento della popolazione come variabili esogene al sistema.

Solamente nel 1957, nel saggio “*Technical Change and the Aggregate Production Function*”, si introdusse lo studio di ciò che venne chiamato *fattore residuo*, responsabile della quota maggiore della crescita, identificato nel progresso tecnologico come variabile esogena ( $\lambda$ ).

Tenendo conto di ciò, la funzione di produzione precedentemente analizzata assume la seguente forma:

$$Y = f(K, L, \lambda) \quad (2)$$

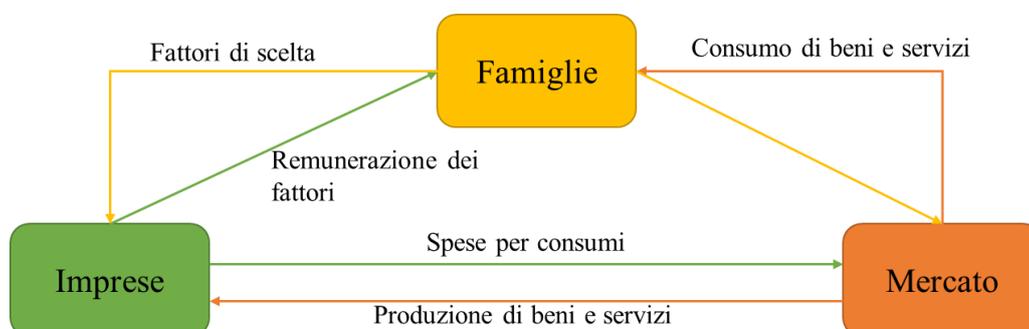


**Figura 1.1** Rappresentazione grafica del modello di crescita neoclassico di Solow.

L'importanza del fattore  $\lambda$  è lo spostamento della funzione di produzione verso l'alto, non andando a modificare gli input iniziali K ed L. Inoltre,  $\lambda$  può essere rappresentato sotto forma di conoscenze incorporate nel capitale fisico, capitale umano o dall'attività di R&S.

Pochi decenni dopo la teoria di Solow modello di crescita neoclassico, viene posta all'attenzione pubblica la questione ambientale ed il problema dell'esaurimento delle risorse. Infatti, nell'idea tradizionale del sistema economico di produzione il modello preponderante è quello definito **chiuso e lineare**, ovvero i beni dei quali usufruiamo seguono un ciclo di vita che inizia con l'estrazione delle materie prime, prosegue con la loro trasformazione in semilavorati e prodotti finiti che vengono utilizzati dai consumatori intermedi e finali, per concludersi poi con lo smaltimento e l'eliminazione

degli scarti di produzione e dei prodotti stessi, diventati ormai rifiuti del processo economico. Le motivazioni per tentare di superare il paradigma lineare sono molteplici, in un sistema che, proprio perché ispirato alla linearità di produzione, consumo e smaltimento, per essere sostenibile dovrebbe disporre di risorse illimitate. Come sappiamo bene, le risorse sono, invece, scarse per definizione, mentre le attività antropiche, soprattutto quelle connesse con la produzione, provocano o stanno accelerando processi talvolta irreversibili di inquinamento, perdita di biodiversità e di interi ecosistemi.



**Figura 1.2 Rappresentazione del sistema economico chiuso e lineare.**

Barry Commoner nella sua opera *“The closing circle”* del 1972, sostiene il rapporto interdependente esistente in natura tra le differenti categorie di esseri viventi e, essendo le risorse limitate, sarebbe un comportamento responsabile quello di contenere gli sprechi e destinare le risorse al riciclo, in quanto ogni trasformazione cui è sottoposta la materia determina la creazione di un residuo che spesso produce effetti negativi al sistema ambiente.

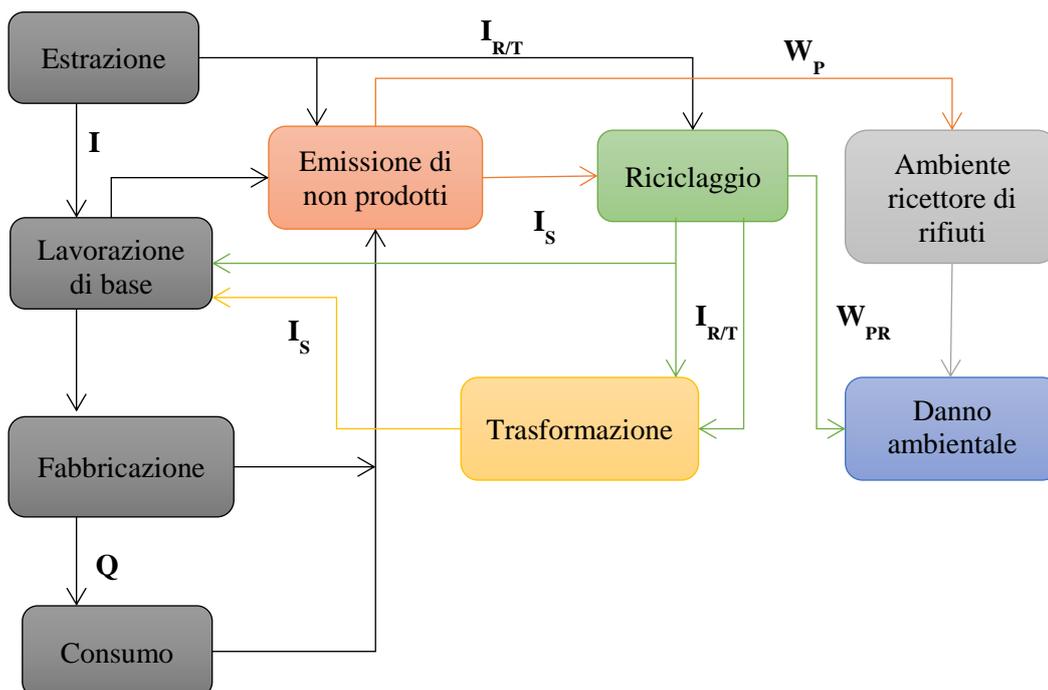
L'autore definisce i principi economici sotto un'ottica mai affrontata prima, ovvero considera il pianeta come un sistema chiuso, applicando le leggi fisiche della termodinamica, secondo l'*approccio di bilancio dei materiali*<sup>1</sup>.

L'economia circolare al contrario è un sistema rigenerativo in cui l'entrata delle risorse e le perdite di rifiuti, emissioni e energia vengono minimizzate riducendo, chiudendo e restringendo i cicli di materiali e di energia. Ciò può essere ottenuto attraverso una progettazione, una manutenzione, una riparazione, un riutilizzo, una ristrutturazione, una ristrutturazione e un riciclaggio di lunga durata. La corrente di pensiero generata da questo approccio innovativo viene conosciuta come scuola termodinamica, e trova la sua massima espressione in Georgescu-Roegen. L'economista rumeno propone di ripensare l'approccio standard ai processi economici come un meccanismo circolare e reversibile, valutato sotto l'ottica dei due principi della termodinamica (*legge di conservazione dell'energia e legge dell'entropia o della dissipazione o degradazione dell'energia*). Pertanto la prima e la seconda legge della termodinamica determinano la base del modello di bilancio dei materiali e conducono alla conclusione che l'economia è un **sistema aperto e circolare**, che può funzionare solamente col sostegno del proprio fondamento ecologico, poiché un'economia in funzione estrae, lavora e disperde grandi quantità di materie fisiche. L'applicazione dei due principi della termodinamica alle analisi economiche consente di comprendere più chiaramente che lo sviluppo sostenibile deve essere perseguito soprattutto attraverso l'efficienza, specialmente energetica. Pertanto si può affermare che ogni estrazione, produzione e consumo di risorse comporta inevitabilmente la creazione di una quantità di prodotti di scarto

---

<sup>1</sup> Modello di interpretazione dei flussi e degli effetti dell'attività economica (produzione e consumo) sull'ambiente e le risorse naturali.

esattamente uguale in termini di materia/energia a quella delle risorse che vengono immesse nel processo economico. Contemporaneamente, è impossibile recuperare la totalità dei prodotti di scarto e reimmetterlo nel flusso delle risorse attraverso il riciclaggio.



- $I$  = input di materie prime e energia
- $Q$  = output in forma di prodotto finale
- $I_S$  = input secondari (riciclati)
- $I_{R/T}$  = input primari per riciclaggio e/o per attività di trasformazione
- $W_P$  = residuo che richiede eliminazione
- $W_{PR}$  = residui generati durante il trattamento e/o processi di riciclaggio

**Figura 1.3 Rappresentazione del sistema economico aperto e circolare.**

## 1.2 Lo sviluppo sostenibile e le quattro dimensioni

Uno dei limiti che incide sensibilmente sulle possibilità di sviluppo riguarda la scarsità delle risorse. La crescita continua della produzione comporta la degradazione di quantità crescenti di materia ed energia, oltre alla diffusione nell'ecosistema di sostanze inquinanti. Secondo il modello di Solow precedentemente analizzato inoltre, la scelta tra consumi e risparmi in relazione al soggetto economico individuo o impresa, pone anche problemi di equità intertemporale fra le diverse generazioni a causa della distribuzione intergenerazionale delle possibilità di consumo. Se, variando opportunamente il tasso di risparmio, un'economia può aumentare i consumi sia attuali che futuri l'equilibrio di stato uniforme esistente non sarà ottimale, mentre questo sarà dinamicamente efficiente se tale economia si trova di fronte ad un effettivo *trade off* tra i consumi della generazione presente e futura.

Il rapporto tra ambiente e crescita economica e l'esigenza di ripensare ad un nuovo modello di sviluppo economico è stato analizzato agli inizi del 1970 dal *Club di Roma*, che nel rapporto "*The Limits to Growth*" (Meadows et al., 1972), aveva sottolineato i limiti alla crescita derivanti dall'offerta di risorse naturali. In tale rapporto per la prima volta l'ecosistema mondo viene rappresentato mediante la teoria dei sistemi. Al suo interno le diverse componenti della sfera economica e della sfera ecologica, ossia risorse naturali, risorse alimentari, popolazione, inquinamento e produzione industriale vengono considerate interconnesse e perciò, il cambiamento di un elemento qualsiasi insito al sistema provocherebbe ripercussioni, azioni e retroazioni, di intensità differente sulle altre componenti. A causa della scarsità di tali risorse, dell'inquinamento e dell'aumento della popolazione, i Paesi industrializzati (PA) avrebbero trovato limiti assoluti alla crescita economica. Il rapporto, nonostante gli errori di previsione e di costruzione delle variabili, ha avuto il pregio di suscitare una profonda discussione sulla compatibilità tra

sviluppo economico ed ambiente e di porre all'attenzione del mondo politico su tale tema. Più precisamente, si è messa in discussione la capacità del mercato di allocare in modo efficiente le risorse e di assicurare un adeguato sviluppo economico anche per il futuro. La diffusione di questo rapporto gettò le basi per un ripensamento delle politiche di sviluppo e come conseguenza dei problemi ambientali e della scarsità delle risorse naturali è stato proposto un nuovo modello economico, in grado di prendere in considerazione la compatibilità tra attività economiche e ambiente naturale. Il modello si basa sull'idea che attraverso la conservazione delle risorse o la loro sostituibilità si possa avere una crescita che duri nel tempo, purché si tenga conto dell'interdipendenza tra attività economiche e ambiente naturale.

Nel 1972, in seguito all'avvenuta presa di coscienza del fatto che il concetto di sviluppo classico correlato in maniera esclusiva alla crescita economica, avrebbe portato ad un vero e proprio collasso dei sistemi naturali, l'Assemblea Generale dell'ONU convocò a Stoccolma la prima rilevante conferenza universale sull'ambiente, la "*United Nations Conference on Human Environment*" (5-15 giugno 1972).

I risultati ottenuti a Stoccolma sono stati estremamente importanti in quanto rappresentano il primo esempio di ragionamento diplomatico e politico globale sui temi dello sviluppo umano (Lanza, 2006).

Dalla Conferenza emerse l'adozione di tre documenti non vincolanti:

- *The Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment* che fissò 26 principi e linee politiche cui gli Stati si impegnavano ad attenersi in materia ambientale tanto a livello nazionale quanto Internazionale.
- *Action Plan for Human Environment* contenente 109 raccomandazioni operative per definire in maniera più dettagliata gli obiettivi della Dichiarazione.

- Una Risoluzione contenente le questioni finanziarie ed istituzionali (UNCHE).<sup>2</sup>

Con tali documenti l'ambiente ha iniziato ad essere considerato come una delle dimensioni essenziali dello sviluppo umano; da qui lo slogan della Conferenza «*non c'è sviluppo senza ambiente*».

Nel **1979** la crescente consapevolezza e collaborazione dei governi circa i temi ambientali portò alla convocazione a Ginevra della prima " Conferenza Mondiale sul Clima". Il maggior risultato della conferenza è stato il lancio di un programma specifico sul clima, il "*World Climate Change*", con l'approvazione di un protocollo sull'inquinamento atmosferico transnazionale firmato dai Paesi europei e dagli Stati Uniti (Lanza, 2006).

Il traguardo di questi processi di consapevolezza riguardo l'importanza dell'ambiente e della biodiversità è stato raggiunto con la formulazione del concetto di sviluppo sostenibile. Infatti, nel **1987** la Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo per la prima volta definisce in quello che verrà poi conosciuto come Rapporto Brundtland il concetto di **sviluppo sostenibile**:

*« uno sviluppo che soddisfi i bisogni della presente generazione senza compromettere le capacità delle generazioni future di soddisfare i propri e i cui obiettivi devono essere definiti in termini di sostenibilità in tutti i Paesi, sviluppati o in via di sviluppo che siano, a economia di mercato o a pianificazione centralizzata ».*

Sono poi proseguite, a scadenza sempre più ravvicinata, le riunioni internazionali e le Conferenze sull'ambiente. Nel **1992** a Rio de Janeiro viene stipulata la Carta di Rio, nella

---

<sup>2</sup> UNCHE United Nations Conference on Human Environment, Dichiarazione di Stoccolma, 1972.

quale vengono enunciati 27 principi per considerare la situazione e le necessità di sviluppo e crescita dei Paesi in via di sviluppo (PVS). Dalla conferenza vengono inoltre pubblicati quattro documenti:

1. L'Agenda 21 (per indicare le principali azioni a impatto ambientale da ricordare e realizzare nel 21° secolo);
2. La Convenzione su clima;
3. La Convenzione per la conservazione delle biodiversità;
4. La Dichiarazione sul consenso globale in merito allo sviluppo sostenibile.

Nel **1997** a Kyoto l'ONU si riunisce per procedere alla stesura del Protocollo Kyoto sui cambiamenti climatici in cui, avallati da quasi 10.000 delegati di 160 Paesi, si indicano le politiche e le misure per la riduzione dei gas che provocano l'effetto serra, a promozione della ricerca sulle energie alternative e sugli incentivi per favorire forme di economie sostenibili e di cooperazione tra PA e PVS con l'impegno di ridurre, tra il 2008 e il 2012, del 5% le emissioni rispetto ai livelli del 1990.

Nel **2001** con la Dichiarazione di Johannesburg viene ribadito l'impegno, con la voce interessata anche dell'Africa, di favorire lo sviluppo sostenibile non ancora attuato a 30 anni di distanza dalla prima conferenza di Stoccolma.

La definizione di sviluppo sostenibile e, dunque, di sostenibilità è strettamente correlata alla ponderata gestione delle risorse naturali. Fattori come crescita economica, l'equa distribuzione delle risorse, il benessere economico e la qualità della vita vengono così integrati in un modello di sviluppo che modifica la teoria di crescita neoclassica, per definire nuovo rapporto tra economia ed ambiente secondo una prospettiva di medio-lungo periodo. Il nuovo paradigma permetterebbe così di integrare indicatori qualitativi e quantitativi all'interno di uno stesso sistema per raggiungere efficienti risultati di sviluppo e crescita

sostenibile (Daly,2001). In tal senso, un ambiente degradato e depauperato nelle sue risorse non può garantire uno sviluppo durevole e socialmente accettabile. La protezione dell'ambiente non viene più considerata un vincolo allo sviluppo, bensì una condizione necessaria per uno sviluppo duraturo (Maccarella, 2009).

Lo sviluppo sostenibile dunque si pone l'obiettivo di preservare le risorse naturali al fine di renderle utilizzabili anche per le future generazioni. Secondo il modello teorico, tale funzione risulta dipendente da quattro variabili anch'esse tra loro dipendenti, di seguito riportate:

- Il **Capitale Naturale**, inteso come lo stock di risorse naturali (**Kn**);
- Il **Capitale Economico**, rappresentato dagli investimenti economici, inclusi quelli in tecnologia, che determinano la produttività, lo sviluppo e la crescita di un Paese (**Ke**);
- Il **Capitale Umano**, inteso come la popolazione risiedente in un Paese, il livello di educazione e la possibilità di formare tale popolazione riguardo gli aspetti ambientali (**Ku**);
- Il **Capitale Sociale**, rappresentato dalle istituzioni di un Paese, le quali hanno come obiettivo quello di esercitare la loro azione sia per sensibilizzare la popolazione sui temi ambientali, sia per definire regole che permettano di salvaguardare l'ambiente (**Ks**).

In termini matematici la relazione diventa la seguente:

$$\Delta K_{tot} = \frac{f(\sum Kn + \sum Ke + \sum Ku + \sum Ka)}{(t0 - t1)} \quad (3)$$

Nella (3), il capitale totale è una funzione della somma delle quattro dimensioni della sostenibilità moltiplicato per il fattore tempo. A seconda della relazione tra le sopra citate variabili, sarà possibile attuare misure di sostenibilità forte o debole.

### **1.3 Sostenibilità forte e debole e la crescita economica**

La sostenibilità forte e la sostenibilità debole sono due modelli di sviluppo sostenibile simili per la caratterizzazione dei fattori che compongono la funzione, ma profondamente diversi per regola e applicazione. Ciò che infatti differenzia i due modelli è la variazione di quello che viene definito capitale naturale critico, identificato nello stock di capitale naturale presente nel nostro sistema economico. La sua variazione compromette in maniera significativa il modello di sviluppo sostenibile applicato all'interno di un sistema di politiche attuative per garantire risultati efficaci ed effettivi in materia di crescita e progresso consapevole.

#### *1.3.1 Sostenibilità debole*

In tale approccio, viene presupposta la perfetta sostituibilità dei fattori di capitale, ovvero non esistono differenze essenziali tra i tipi di benessere che essi generano (Ekins et al., 2003; Neumayer, 2003; Neumayer, 2012). L'unica assunzione è relativa allo stock di capitale aggregato, il quale dovrebbe essere mantenuto invariato o idealmente aumentato per il bene delle generazioni future (Solow, 1994).

$$\frac{\Delta K_{tot}}{\Delta t} \geq 0, \text{ dove } \Delta K_{tot} = \sum(Ka, Kh, Kn, Ks) \quad (4)$$

Nella (4), la variazione delle attività aggregate in un preciso momento nel tempo,  $dK / dt$ , deve avere valore almeno pari a zero nella funzione aggregata.

Secondo tale prospettiva "*non importa se la generazione corrente non usa risorse rinnovabili o emette elevati contenuti di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera finquando una quantità sufficiente di investimenti vengono effettuati per sopperire alla depauperazione delle risorse*" (Neumayer, 2003).

Tale posizione porta a massimizzare le compensazioni monetarie e gli investimenti in tecnologia al fine di compensare la degradazione dell'ambiente e l'utilizzo sconsiderato di risorse naturali.

Infatti, secondo tale teoria il progresso tecnologico si presume che generi continuamente soluzioni tecniche ai problemi ambientali causati dall'aumento della produzione di beni e servizi (Ekins et al., 2003).

### *1.3.2 Sostenibilità forte*

La sostenibilità forte invece, assume che il capitale naturale non può essere visto come un semplice stock di risorse, piuttosto come un insieme di sistemi complessi costituiti da elementi biotici e abiotici in evoluzione che interagiscono in modi diversi per determinare la capacità dell'ecosistema di fornire direttamente e/o indirettamente alla società umana una vasta gamma di funzioni e servizi (Noël et al., 1998; Ekins et al., 2003; De Groot et al., 2003; Brand, 2009).

$$\frac{\Delta K_{tot}}{\Delta t} \geq 0 \text{ e } \frac{\Delta K_n}{\Delta t} > 0, \text{ dove } \Delta K_{tot} = \sum(K_a, K_h, K_n, K_s) \quad (5)$$

Nella (5), viene esplicitato l'assioma della non sostituibilità del capitale naturale, dimostrando che lo stock di capitale naturale deve essere costante e non diminuire. La sostenibilità forte comporta condizioni più restrittive sui trasferimenti intergenerazionali delle risorse naturali. Infatti, la possibilità di mantenere un potenziale di crescita o di benessere anche per le generazioni future esige l'applicazione di principi di gestione specifici ad ognuna delle componenti del capitale.

**Tabella 1.1 Differenze tra Sostenibilità debole e forte.**

	<i>Sostenibilità Forte</i>	<i>Sostenibilità Debole</i>
<b>Concetto essenziale</b>	Il <i>capitale naturale</i> non è sostituibile con altre tipologie di capitale	Il <i>capitale naturale</i> e le altre tipologie di capitale sono perfettamente sostituibili
<b>Conseguenze</b>	Alcune <i>azioni antropiche</i> possono incidere irreversibilmente sul capitale naturale	Le <i>innovazioni tecnologiche</i> e gli investimenti compensano la degradazione dell'ambiente
<b>Principio di Sostenibilità</b>	Conservare gli <i>stock</i> di capitale naturale critico anche per le future generazioni	Il <i>valore totale aggregato</i> del capitale totale deve essere mantenuto idealmente costante o incrementato per le generazioni future
<b>Concetto chiave</b>	<i>Capitale naturale critico</i>	<i>Ottima allocazione delle risorse</i>
<b>Norme ambientali</b>	Sapere scientifico come input per la formulazione di norme ( <i>razionalità procedurale</i> )	Approccio tecnico/scientifico per la formulazione di norme ( <i>razionalità strumentale</i> )

Data l'importanza dello stock di capitale naturale ai fini dello sviluppo economico sostenibile è stata proposta come regola di sostenibilità che il consumo del capitale naturale non superi un determinato livello critico.

Il problema nei confronti di questa regola è dato dalla misurazione del capitale naturale: così se storicamente il fattore limitante lo sviluppo è stato il capitale sociale, nel mondo contemporaneo è la risorsa naturale a diventare rapidamente il fattore limitante lo sviluppo, che si tenta quindi di risparmiare o di riciclare. E' quindi lecito consumare risorse fintanto che non si eccedano le capacità di ripristinarle. Da qui l'ampio sviluppo promosso dalle organizzazioni internazionali sugli indicatori ambientali al fine di monitorare la salute dell'ecosistema, della biodiversità e lo stock del capitale naturale.

#### **1.4 Misure integrate per il calcolo degli indicatori di benessere**

A partire dal 1992 con il vertice di Rio e la redazione dell'Agenda 21, è iniziato il processo per lo sviluppo di indicatori ambientali al fine di calcolare la qualità dell'ambiente secondo misure di tipo qualitativo e quantitativo. Tale sistema ha l'obiettivo di considerare all'interno di un solo indice, variabili che rispecchino la multidimensionalità dello sviluppo sostenibile, integrando dunque misure relative al capitale naturale, al capitale economico, al capitale umano ed al capitale sociale. Data la diversità delle variabili che compongono l'indice, ad oggi ci sono differenti metodo di calcolo per valutare lo sviluppo sostenibile e alcune organizzazioni come *l'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico* (OCSE) e *l'Eurostat* collaborano insieme per individuare strumenti sempre più precisi che rispecchino la situazione reale.

Le difficoltà nel calcolare l'indice di sostenibilità risiede nel fatto che mancano di indicazioni sui legami causali tra i fattori, sulla loro relazione con la sostenibilità e/o sulle gerarchie tra gli indicatori utilizzati. Inoltre, come strumenti di comunicazione, una critica frequente è che mancano di ciò che ha reso il successo del PIL: la potente attrazione di un singolo titolo che permette semplici confronti di performance socio-economiche nel tempo e/o tra i vari Paesi.

Indatti, il Prodotto Interno Lordo (PIL) è una misura economica che definisce il valore totale di beni e servizi presenti sul mercato, prodotti dall'economia di un Paese in un determinato periodo di tempo (un semestre od un anno). È una unità di misura che viene utilizzata come unità di riferimento per il calcolo delle attività economiche (output) di un Paese in un periodo specifico.

L'*Organisation for Economic Cooperation and Development* (OECD) definisce il PIL come “una misura di produzione aggregata pari alla somma dei valori lordi aggiunti di tutti i residenti e le unità istituzionali coinvolte nella produzione (aggiunte le tasse, sottratti i sussidi, su prodotti non inclusi nel valore del loro output)”.

Il *Fondo Monetario Internazionale* (IMF) definisce tale misura come “il valore monetario finale di beni e servizi, ovvero quelli acquistati dagli utenti finali, prodotti in un paese in un determinato periodo (un semestre od un anno)”.

Il PIL totale inoltre può essere considerato anche nella valutazione di un'industria od un settore economico. Il rapporto tra GDP e popolazione totale di una regione rappresenta invece il PIL pro-capite, conosciuto anche come livello medio di vita e rappresenta la “vivibilità” di un Paese.

In economia, gli utenti finali di beni e servizi vengono raggruppati in tre differenti categorie:

1. nuclei familiari
2. attività economiche
3. governo ed istituzioni

A tal fine, il calcolo del PIL secondo il modello Keynesiano (metodo della spesa) viene effettuato aggiungendo proprio le voci di spesa effettuate dai suddetti gruppi secondo la seguente formula:

$$Y = C + I + G + (X - M) \quad (6)$$

Secondo la (6),  $Y$  rappresenta il PIL,  $C$  rappresenta la spesa in consumi delle famiglie e delle organizzazioni no-profit,  $I$  gli investimenti delle attività economiche e gli acquisti di immobili da parte delle famiglie,  $G$  la spesa pubblica in beni e servizi da parte del governo ed  $(X-M)$  rappresenta la bilancia commerciale, ovvero il saldo tra le esportazioni di una nazione meno le sue importazioni.

Dunque l'output derivante da una economia secondo il modello Keynesiano dovrebbe essere destinato maggiormente ai consumatori, ovvero famiglie, attività economiche e governo. In questo modo la somma di tutte le voci di spesa dovrebbe essere uguale alla produzione totale di un Paese.

Ogni Paese calcola e pubblica regolarmente dati sul PIL interno ed alcune organizzazioni internazionali come la *Banca Mondiale* (WB) o l'*IMF* concorrono a pubblicare periodicamente ed a mantenere aggiornati le serie storiche dei PIL di tutti i Paesi. Quando l'economia di un Paese presenta dati di crescita positiva del PIL per un periodo considerato consecutivo, allora tale economia viene definita "in espansione" o "in crescita". Contrariamente, quando l'economia di un Paese presenta dati di crescita negativa del PIL per un periodo considerato consecutivo allora tale economia viene definita "in recessione" o "in decrescita".

Il PIL di un Paese viene utilizzato come misura delle performance economiche di un Paese o di una regione specifica al fine di effettuare anche comparazioni tra differenti nazioni o macroaree. Il PIL nominale per capita non tiene comunque in considerazione le differenze nel costo di vita di una determinata area o il tasso d'inflazione di un Paese.

Comunque tale indice viene criticato quando si tratta di calcolare il **benessere della popolazione** in un determinato territorio in quanto risulta essere incompleto e trascurare alcune voci di spesa o misure aggregate come ad esempio il deprezzamento netto e lordo delle attività economiche relative ai beni capitali.

Ciò che distingue il PIL dal Prodotto Interno Netto (PIN) è l'ammortamento, ma il problema è che tale fattore è molto difficile da stimare; difatti, quando la struttura di produzione è quella tradizionale, PIL e PIN sono molto simili. Negli anni recenti, la struttura di produzione è cambiata e la cosiddetta information technology (IT) ha modificato il peso ponderato dei beni capitali: apparecchi elettronici (come computer e software) hanno una aspettativa di vita sempre più limitata e questa voce provoca una variazione notevole tra PIL e PIN, provocando una crescita maggiore del PIL rispetto al PIN. Ad esempio, il PIL reale degli Stati Uniti d'America (USA) è cresciuto del 3% l'anno durante il periodo 1985-2007, mentre il deprezzamento ha registrato un incremento del 4.4% nello stesso periodo. Conseguentemente, il PIN è cresciuto ad un tasso molto più lento rispetto al PIL.

Inoltre, l'indice di deprezzamento non tiene affatto in considerazione la degradazione della qualità dell'ambiente: si sono registrati molti sforzi al fine di riflettere all'interno di tale indicatore la qualità dell'ambiente naturale, ma senza particolari risultati. L'unica considerazione dell'ambiente che può essere stimata all'interno di un sistema di valutazione nazionale in relazione al PIL o PIN è associata al valore monetario che inquadra la salute dell'ecosistema e della biodiversità sotto la voce di costo ambientale.

**Nel caso delle risorse naturali** viene infatti fissato un prezzo di mercato, anche se tale voce non riflette il costo attribuibile ai danni ambientali generati dall'utilizzo di quella determinata risorsa.

L'esaurimento delle risorse naturali può essere calcolato escludendo il valore di quella determinata risorsa coltivata dal valore di produzione del settore, come ad esempio avviene per l'industria del legno o delle attività estrattive. Il valore di tali settori potrebbe così includere nel calcolo voci come i costi di estrazione o i costi delle attività logistiche, andando così a modificare il valore finale del PIL. Un secondo metodo invece potrebbe considerare il valore del deprezzamento connesso all'esaurimento delle risorse naturali, lasciando così

invariato il valore del PIL ed andando ad incidere in maniera negativa (deprezzando dunque) il PIN.

**Tabella 1.2 Esempi di indicatori in base alla domanda di ricerca**

<b>Settore</b>	<b>Ambito di ricerca</b>	<b>Indicatori</b>
<i>Economico</i>	Sviluppo socio-economico	PIL pro-capite
	Ricchezza generata	Valore aggiunto pro-capite (disaggregato per settore economico)
	Consumi familiari	Consumi finali interni alimentari e non
	Costo della vita	Indice dei prezzi al consumo – famiglie, operai, impiegati (FOI)
	Caratterizzazione Sistema economico	Imprese per settore economico Densità d’impresa per 1000 abitanti
<i>Ambientale</i>	Consumo e produzione sostenibile	Produttività delle risorse Consumo energia/produzione
	Sviluppo sostenibile	Emissioni di gas climalteranti Consumo di risorse rinnovabili
	Risorse naturali	Indice di biodiversità
<i>Sociale</i>	Inclusione sociale	Indice di povertà N° immigrati/popolazione
	Occupazione e disoccupazione	Tasso di occupazione
	Salute	Anni di vita in salute aspettativa di vita alla nascita
		Assistenti a domicilio ogni 100mila residenti
	Livello di istruzione	N° diplomati, laureate/popolazione
Partecipazione elettorale	% votanti alle ultime elezioni (amministrative, politiche, europee)	

Nel mondo globalizzato, possono essere presenti molte differenze tra reddito dei cittadini di un determinato Paese e produzione nazionale, ma ovviamente la prima voce rispecchia in maniera più reale il benessere medio all’interno del paese. Difatti il reddito pro-capite è una indice più efficiente rispetto alla produzione nazionale: il PIL considera come voce di spesa

i profitti in senso generale, non considerando il singolo valore del potere d'acquisto dei cittadini risiedenti in un singolo Paese. Così un Paese in via di sviluppo (PVS) può veder crescere il suo PIL ed al contempo verificare che il livello di benessere medio della sua popolazione è in realtà diminuito. Inoltre, la voce di spesa relativa alle importazioni cresce o diminuisce in maniera differente rispetto alla voce di costo relativa alle importazioni, altro fattore che incide in modo rilevante sulle condizioni di vita dei cittadini. Inoltre, in molti PVS, la voce di costo delle esportazioni è nella maggior parte dei casi inferiore rispetto al valore al netto delle importazioni, così incidere negativamente sul benessere interno.

### **1.5 La Qualità della vita e il benessere economico: approcci metodologici**

La qualità della vita include tutta la gamma di fattori che rendono la vita degna di essere vissuta, compresi quelli che non sono negoziati nei mercati e non sono catturati da misure monetarie. Mentre alcune estensioni della contabilità economica includono alcuni elementi aggiuntivi che modificano la qualità della vita basandosi su misure convenzionali come il reddito, il presente approccio aggiunge indicatori che non rientrano nella dimensione economica scalare generale, ma vanno a migliorare gli indici di calcolo della teoria del benessere economico.

Alcuni indicatori hanno un ruolo importante nella misura del progresso sociale e recenti progressi nella ricerca hanno portato a nuove e credibili misure per misurare alcuni aspetti della qualità della vita. Queste misure, pur non sostituendo gli indicatori economici convenzionali, offrono un'opportunità per arricchire le discussioni politiche e per informare la popolazione circa le condizioni in cui vive. Infatti, i flussi di reddito sono un indicatore importante per il tenore di vita, ma risultano essere volatili se si considerano altre variabili che servono a valutare la qualità della vita, ma non si basano su misure economico-

monetarie. Dalla *Commissione Europea* (CE) sono stati definiti due approcci concettuali per misurare la qualità della vita in un Paese in maniera più efficiente rispetto al calcolo del PIL. Il primo **metodo** è prettamente **soggettivo**, il quale utilizza strumenti tradizionali dei quali si servono economisti e statisti per attribuire dei valori a determinati aspetti della nostra società. Tali aspetti riguardano caratteristiche personali dei soggetti oggetto della valutazione che determinano, attraverso risposte personali ad un panel di domande, preferenze relative a scelte di mercato che si riflettono e modificano la nostra economia e la società. Questo approccio soggettivo si serve essenzialmente di una metodologie di valutazione, ovvero la teoria del *benessere soggettivo*.

Il secondo **metodo** invece è essenzialmente **oggettivo**, ed è basato sul soddisfacimento di bisogni che rientrano all'interno della categorizzazione fornita da Maslow nel 1954, con l'obiettivo di attribuire un punteggio alle condizioni oggettive rappresentate ai vertici della piramide. L'obiettivo è quello di attribuire una valutazione in maniera oggettiva rispetto a determinate condizioni che definiscono specifici aspetti dell'economia e della società. Tali aspetti hanno una importanza specifica per fornire delle misure effettive della qualità della vita di individui allocati in un determinato Paese. Questo approccio oggettivo si serve essenzialmente di due metodologie di valutazione, ovvero la teoria della *capacità* e la teoria dell'*equa distribuzione*.

### *1.5.1 Misure soggettive*

La caratteristica preponderante delle misure soggettive per definire la qualità della vita di una specifica popolazione, riguarda gli aspetti soggettivi che gli individui riflettono sulle condizioni di mercato.

Questo metodo è strettamente legato alla tradizione utilitarista e vede gli individui come i migliori giudici delle proprie condizioni. Generalmente, i valutatori assumono che sia sufficiente esaminare le scelte della popolazione per trarre informazioni sul loro benessere e che queste scelte definirebbero delle conclusioni specifiche in modo diretto. Negli ultimi anni però, molte ricerche scientifiche si sono concentrate su ciò a cui gli individui attribuiscono un valore determinato, piuttosto che sulla soddisfazione e su come questi soggetti agiscano nella vita reale, ovvero che cosa determina le loro scelte, e dunque l'aspettativa che prescinde da tali scelte. Queste due voci hanno dunque evidenziato grandi discrepanze tra i presupposti standard della teoria economica e la teoria dei fenomeni reali. Da tali divergenze, gli psicologi si sono affiancati agli economisti per definire una nuova teoria che consideri delle valutazioni soggettive per definire il concetto di benessere.

**Il metodo soggettivo**, sviluppato in stretta connessione con la ricerca psicologica, si basa quindi sulla nozione di **benessere soggettivo** e si serve di due principali indicatori per valutare la qualità della vita: *la soddisfazione* e *la felicità personale*.

Questo metodo inoltre, distingue le dimensioni della qualità della vita ed i fattori, questa volta oggettivi, che modellano queste dimensioni. A sua volta, le dimensioni soggettive della qualità della vita comprendono diversi aspetti.

Il primo aspetto è rappresentato dalle *valutazioni degli individui riguardo la loro vita nel loro complesso o riguardo alcuni aspetti di essa*, come la **famiglia**, il **lavoro** e le **condizioni finanziarie**. Queste valutazioni implicano un esercizio cognitivo da parte di ogni individuo sottoposto all'indagine ed uno sforzo da parte dei valutatori per elaborare e riassumere l'intera gamma di variabili soggettive derivate dall'analisi, come ad esempio l'appagamento, il conseguimento dei loro obiettivi, la motivazione personale.

Il secondo aspetto è rappresentato dai *sentimenti reali delle persone*, quali ad esempio il **dolore**, la **preoccupazione** e la **rabbia**, oppure il **piacere**, l'**orgoglio** e il **rispetto**. Quando

questi sentimenti vengono riportati in tempo reale, sono meno influenzati da pregiudizi dovuti alla memoria e alla pressione sociale legata a ciò che viene considerato "buono" nella società. Così, all'interno di questa ampia categoria di sentimenti del campione analizzato, la ricerca sul benessere soggettivo distingue tra affetti positivi e negativi, in quanto entrambi caratterizzano l'esperienza di ciascuna persona.

Le relazioni soggettive della valutazione della vita e delle influenze delle persone forniscono **misure di qualità della vita** che possono essere monitorate nel tempo; alcune di queste misure possono essere *paragonate* in Paesi diversi in modo affidabile. Probabilmente ancora più importante è che queste misure forniscano *informazioni determinanti sull'attribuzione del valore di qualità della vita a livello di ogni persona facente parte di un campione definito*. Questi fattori determinanti comprendono entrambe le caratteristiche dell'ambiente in cui vivono le persone e le loro condizioni individuali e variano a seconda dell'aspetto considerato. Ad esempio, le attività come il pendolarismo, il lavoro o la socializzazione possono essere più importanti per gli affetti, mentre le condizioni associate a tali attività, come l'atto di sposarsi o avere un lavoro gratificante, possono essere più importanti per le valutazioni della qualità della vita.

In entrambi i casi, tuttavia, queste misure **forniscono informazioni oltre quelle fornite dal reddito** e vari studi riportano che nella maggior parte dei PA, i giovani e gli anziani riportano valutazioni più positive rispetto alla loro condizione di qualità di vita a confronto con altre categorie di individui regolarmente occupate, facendo emergere *un modello che contrasta fortemente con altri metodi di valutazione che utilizzano il fattore reddito come variabile indipendente*.

In ogni modo, un'area in cui le misure soggettive di benessere rispecchiano la qualità della vita in una popolazione riguardano ad esempio l'alto costo della disoccupazione. Infatti le persone che diventano disoccupate riportano una valutazione della vita più negativa; anche

i disoccupati riportano una maggiore prevalenza di alcune variabili negative come tristezza, stress e dolore, congiunta a livelli bassi di variabili positive come gioia e appagamento. Queste misure soggettive suggeriscono che i costi della disoccupazione superano le perdite di reddito subite da coloro che perdono il loro lavoro, riflettendo l'esistenza di effetti non pecuniari tra i disoccupati e di paure e ansie generate dalla disoccupazione nel resto della società. Mentre le iniziative dei singoli ricercatori e dei fornitori di dati commerciali hanno portato ad importanti progressi nella misura del benessere soggettivo, i dati restano limitati in termini di inferenze statistiche che consentono analisi più specifiche a livello territoriale. I sistemi statistici nazionali dovrebbero considerare questi sforzi e includere domande su vari aspetti del benessere soggettivo all'interno delle indagini standard. Dovrebbero anche sviluppare studi longitudinali che potrebbero supportare inferenze più valide circa l'importanza relativa dei vari fattori sul lavoro.

Una ricca letteratura (Schwidel et al., 2013; Toman, 1992; Van de Hove, 2000; European Commission, 2016) su queste misure soggettive conclude che *contribuiscono a prevedere il comportamento delle persone nella società, specificatamente per ciò che riguarda il mercato del lavoro, e che sono più valide rispetto ad altri indici di valutazione.*

### *1.5.2 Misure oggettive*

La caratteristica preponderante delle misure oggettive per definire la qualità della vita di una specifica popolazione, riguarda gli aspetti legati alla soddisfazione di bisogni di appartenenza, stima e valutazione che gli individui appartenenti al campione analizzato riflettono sul mercato. Alcune variabili che vengono considerate nell'**approccio oggettivo** sono: *la salute, l'istruzione, le attività personali* (uso del tempo in particolare per le donne),

*la rappresentanza politica, le relazioni sociali, le condizioni ambientali, l'insicurezza personale e l'insicurezza economica.*

Ci sono prevalentemente due metodi per calcolare la qualità di vita di una popolazione: il primo approccio si basa sulla nozione di **capacità** e concepisce la vita di un individuo come una combinazione di "fatti e circostanze", definite come *funzionalità*, e della sua *libertà di scegliere* tra queste funzionalità. Il secondo metodo si basa invece sulla nozione di **equa allocazione**.

Secondo l'approccio relativo alla **capacità**, alcune di questi attributi possono essere abbastanza elementari, ad esempio essere adeguatamente nutriti e sfuggire alla mortalità precoce, mentre altri possono essere più complessi, come ad esempio avere l'alfabetizzazione necessaria per partecipare attivamente alla vita politica.

Tale metodo attribuisce un punteggio maggiore alle variabili quali: la *giustizia sociale*, riflettendo l'attenzione sulla finalità di miglioramento sociale e sul rispetto della capacità individuale di perseguire e realizzare gli obiettivi a cui l'individuo assegna un determinato valore; un *modello economico etico*, rifiutando invece un sistema in cui gli individui agiscono solo in funzione di massimizzare il proprio interesse personale; la *complementarietà tra le varie capacità*; il *riconoscimento della diversità umana*, che richiama l'attenzione sul ruolo svolto dai principi etici nella progettazione della società multiculturale.

L'approccio di **equa allocazione** è sviluppato invece secondo la tradizione economica. L'idea di base, comune all'economia del benessere, è quella di *ponderare le varie dimensioni non monetarie della qualità della vita* (al di là dei beni e dei servizi che vengono scambiati nei mercati), in modo da rispettare le preferenze delle persone.

Questo metodo richiede la scelta di un particolare punto di riferimento per ciascuna delle diverse **dimensioni non monetarie** e l'ottenimento di informazioni sulle situazioni attuali e

sulle loro preferenze rispetto a tali punti. Inoltre, in questa valutazione si evita di basare valutazioni su una "volontà di pagamento media" che può riflettere in modo sproporzionato le preferenze di coloro che sono migliori nella società e si concentra invece sulla parità tra tutti i suoi membri.

Questi approcci hanno evidenti differenze, ma anche alcune somiglianze. I sostenitori dell'approccio di capacità sottolineano anche che gli stati soggettivi non sono le uniche cose che contano e che l'espansione delle opportunità delle persone è importante in sé, anche se ciò non si manifesta in un maggiore benessere soggettivo. Allo stesso modo, sia la **capacità** che l'**approccio di equa allocazione** *si basano sulle informazioni sugli attributi oggettivi di ciascuna persona, mentre differiscono nei modi in cui questi sono ponderati e aggregati.* Mentre la scelta tra questi approcci è in ultima analisi una decisione normativa, tutti indicano l'importanza di una serie di funzionalità che vanno oltre il comando sulle risorse. La misurazione di queste caratteristiche richiede l'utilizzo di tipi di *dati* (ossia risposte a questionari e osservazioni non di mercato di stati personali) che non sono acquisite da transazioni di mercato.

Inoltre, sia l'approccio di capacità che l'approccio di equa allocazione danno rilievo alle condizioni oggettive delle persone e alle opportunità a loro disponibili, mentre differiscono in come queste caratteristiche vengono valutate e classificate. Mentre le caratteristiche oggettive in senso generale possono avere un valore strumentale per il benessere soggettivo, entrambi questi approcci concettuali considerano *un'espansione delle opportunità* di persone in questi settori come intrinsecamente importanti per la vita delle persone.

Infine, la gamma di **caratteristiche oggettive** da considerare in ogni valutazione della qualità della vita dipenderà dall'obiettivo dell'esercizio: ovvero si possono analizzare le variazioni delle condizioni all'interno delle giurisdizioni nazionali oppure si possono confrontare queste condizioni tra Paesi a diversi livelli di sviluppo. Alcune caratteristiche

possono essere considerate come *descrittori degli stati della popolazione* (ad esempio la salute), mentre altri possono riflettere sulle *libertà che gli individui devono perseguire* o sugli *obiettivi che essi desiderano raggiungere* (ad esempio la voce politica). Mentre la questione di quali elementi dovrebbero appartenere ad un elenco di caratteristiche oggettive inevitabilmente dipendono dai giudizi di valore, nella pratica la maggior parte di questi temi sono condivisi tra Paesi e circoscrizioni, e vi è una grande consistenza tra i vari esercizi che si concentrano sulla misurazione **benessere** e concetti correlati. In generale, le misure per tutte queste caratteristiche oggettive evidenziano come tali indici facciano emergere delle profonde differenze tra la popolazione rispetto alla qualità di vita degli individui ed evidenzia come gli indici di benessere non sono tutte catturate da misure convenzionali di tipo prettamente economico.

### **1.6 Salute, Educazione e Ambiente come variabili di benessere**

Con l'obiettivo di definire un **modello integrato** per il calcolo dell'indice di benessere di una popolazione, sono state definite *tre variabili* che devono essere considerate nella funzione finale del benessere. Queste variabili danno una valutazione del grado di soddisfazione di una popolazione e riguardano l'indice di **salute**, il grado di **educazione** e la salute dell'**ambiente**. Difatti nella Figura 1.3 viene rappresentata graficamente l'interdipendenza delle variabili nella definizione della qualità della vita di una popolazione in quanto indici dello sviluppo e del progresso di una società. La variabile economica ovviamente è indispensabile per permettere ai singoli cittadini di accedere al soddisfacimento dei vari bisogni elencati da Maslow ed è identificata con i fattori reddito ed occupazione. Inoltre una società avanzata deve definire nella spesa pubblica interna gli investimenti per permettere ai cittadini di poter accedere ai servizi di base in ambito di salute

ed educazione. Infine, le istituzioni devono garantire ai concittadini il controllo della salute dell'ambiente naturale, in termini di biodiversità e accesso alle risorse naturali. Così l'indice della qualità della vita si compone di variabili economiche, sociali ed ambientali.



**Figura 1.3 La Qualità della vita e gli ambiti di inclusione**

### *1.6.1 Salute*

La **salute** è un fattore fondamentale che determina sia la **lunghezza** che la **qualità della vita** delle persone e la sua valutazione richiede buone misure di mortalità e morbilità. Generalmente le statistiche di mortalità per età e genere servono a documentare il rischio di morte e la durata prevista della vita di una persona. Questi indicatori sono oggi disponibili in tutti i Paesi sviluppati, ma restano limitati in gran parte del mondo in via di sviluppo, in particolare per gli adulti. A causa di questa mancanza di dati di conseguenze è limitata anche l'azione delle *Nazioni Unite* per monitorare i progressi nel raggiungimento degli obiettivi di sviluppo del millennio. L'impossibilità di accedere a dati reali in determinate aree del mondo è una determinante negativa per ciò che riguarda la possibilità di calcolo di statistiche

puntuali in materia. Inoltre, le statistiche di mortalità raccolte per età sono vettori, dunque per ottenere misure scalari dell'aspettative di vita di un individuo tali voci devono essere aggregate e standardizzate per intervalli di età per poter essere confrontate tra i Paesi e nel tempo. Poiché esistono diverse formule di aggregazione e differenti metodi di normalizzazione, i risultati e le classificazioni divergeranno quando saranno effettuate delle analisi incrociate di dati per differenti Paesi. Ciò suggerisce che una serie di misure di mortalità dovrebbero essere compilate e controllate regolarmente per verificare le correlazioni presenti o mancanti con i dati economici al fine di indicare l'utilità di specifiche azioni.

Tuttavia, è significativo che le **misure non monetarie** della salute umana possono divergere significativamente dalle misure economiche convenzionali. Ad esempio, sebbene la Francia abbia un PIL più basso rispetto a quello degli Stati Uniti, la sua aspettativa di vita alla nascita è più alta e questo vantaggio si sta ampliando (da meno di 6 mesi nel 1960 a quasi due anni nel 2006), anche se il suo PIL pro-capite è diminuito rispetto agli Stati Uniti.

Lo stato di avanzamento per le statistiche sulla morbidità è però più limitato. Tra le misure esistenti di *morbidità* vengono considerati i vari fattori: registri dell'altezza e del peso della popolazione; diagnosi di malattie da parte di medici e dottori; registri di malattie specifiche; auto-relazioni disegnate per censimenti e indagini. Alcune di queste misure riguardano la prevalenza di malattie o lesioni, mentre altre si riferiscono alle loro conseguenze in termini di funzionamento fisico e fisiologico del paziente.

I dati relativi alla morbidità sono soggetti ad elevati tassi di variabilità, costituendo un serio ostacolo al confronto tra i Paesi e al monitoraggio dei cambiamenti dell'indice di morbidità della popolazione nel tempo.

La variabilità del fattore salute ha così portato a diversi tentativi di *definire una misura riassuntiva che **combini** sia indici di mortalità, sia indici di morbidità*. Tuttavia, sebbene

esistano diversi indicatori di salute della popolazione combinati, nessuno attualmente si riferisce a variabili definite da un accordo internazionale.

Le sfide poste da questa varietà di misure sanitarie inoltre, non sono limitate ai confronti transfrontalieri, ma si estendono anche ai confronti all'interno di uno stesso Paese. Infatti, le recenti ricerche sulle disuguaglianze nello stato di salute hanno messo in evidenza diversi modelli.

In primo luogo, le persone di classi professionali inferiori che hanno livelli inferiori di istruzione e reddito tendono a morire in età più giovane e soffrono, con durata più brevi, di una maggiore prevalenza di alcuni problemi di salute.

In secondo luogo, queste differenze nelle condizioni sanitarie non riflettono solo peggiori risultati per le persone con basso reddito, ma si estendono anche a differenti classi di popolazione nella gerarchia socioeconomica, presentando così un gradiente sociale: ad esempio, l'aspettativa di vita nel Regno Unito aumenta per il personale qualificato rispetto a quello non qualificato o ad impiegati di basso rango, evidenziando delle disuguaglianze sanitarie utili a valutare la qualità della vita. Inoltre, le misure esistenti non consentono confronti *cross-country* della loro grandezza, a causa delle differenze nelle misure dei risultati di salute utilizzati, nelle singole caratteristiche considerate (educazione, reddito, etnia) e nella popolazione di riferimento e copertura geografica dei vari studi nazionali.

### *1.6.2 Educazione*

Una lunga tradizione di ricerca economica ha sottolineato l'importanza dell'**istruzione** nel fornire le competenze e le conoscenze a sostegno di una produzione economica sempre migliore. Ma l'istruzione implica una qualità della vita elevata, come dimostrano studi di

confronto tra PA e PVS, riflettendo su variabili come il reddito familiare e la produttività pro-capite.

*L'istruzione è una variabile molto utilizzata per fornire **valutazioni sulla qualità della vita di una popolazione**: individui più istruiti hanno in genere un miglior stato di salute, una disoccupazione più bassa, più connessioni sociali e un maggior coinvolgimento nella vita civica e politica.*

Mentre le prove disponibili non sempre consentono di trarre conclusioni sulla direzione del nesso tra istruzione e altre variabili utilizzate alla valutazione della qualità della vita (ad esempio la salute), esiste un consenso sul fatto che l'istruzione adduca una serie di rendimenti monetari e non-monetari positivi sia strettamente connesse all'individuo che investe nell'istruzione, sia collegate al beneficio che ne trae la comunità in cui l'individuo vive.

Priorità della ricerca è fornire gli strumenti per misurare in maniera più efficiente i benefici riguardanti i vantaggi dell'istruzione. Gli **indicatori formativi** disponibili coprono un'ampia gamma di settori. Alcuni si riferiscono agli input, ad esempio l'iscrizione alla scuola, le spese per l'istruzione e le risorse scolastiche, mentre altri si riferiscono alla produttività e agli output, ad esempio tassi di graduazione, anni di scolarizzazione completati, misurazioni standardizzate dei risultati delle persone in termini di alfabetizzazione e numerazione.

*Quale di questi indicatori è più rilevante dipende dalla fase di sviluppo di un Paese e sull'obiettivo dell'esercizio di valutazione. Gli indicatori disponibili evidenziano grandi differenze tra i diversi Paesi, con differenti indicatori formativi che talvolta evidenziano modelli contrastanti. Alcuni Paesi, ad esempio, combinano l'eccellenza di studenti che raggiungono l'istruzione universitaria con il reddito familiare, evidenziando magari l'appartenenza di tali giovani alle fasce più deboli di reddito. Queste valutazioni permettono così di valutare in maniera significativa la qualità della vita di una popolazione. Inoltre, all'interno dei Paesi, le misure di disuguaglianza nei risultati dell'apprendimento sono*

particolarmente importanti per i giovani alla base della scala di successo che sono a rischio di povertà o di esclusione da posti di lavoro ben pagati e gratificanti nella vita adulta.

Alcuni degli indicatori più rilevanti per valutare l'**effetto dell'istruzione sulla qualità della vita** sono relativi a misure di competenze delle persone. Negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi *strumenti* per misurarli in modo standardizzato, anche se tali strumenti presentano ancora significative limitazioni:

1. non tutti i Paesi attuano queste indagini;
2. molti di questi strumenti non sono stati sviluppati dalla prospettiva di misurare le capacità delle persone in senso lato, ma al fine di valutare le politiche educative, che in genere richiedono di porre l'attenzione su un insieme più stretto di competenze misurabili;
3. gli strumenti di valutazione esistenti spesso hanno una copertura ridotta, poiché la scolarizzazione è solo uno degli input che conducono alla conoscenza, allo sviluppo delle competenze e ai miglioramenti della qualità della vita. Le informazioni sulle esperienze e sulle competenze "soft" acquisite dai bambini nei loro primi anni rimangono limitate, nonostante le evidenze crescenti che le esperienze della prima infanzia sono importanti per l'apprendimento delle persone e la qualità della vita negli anni successivi.

Anche gli strumenti di misurazione restano limitati quando si parla di competenze degli studenti nell'istruzione superiore e nella valutazione delle esperienze dei lavoratori in termini di istruzione e formazione degli adulti (anche se questo cambierà quando vengono sviluppate e implementate nuove indagini sulle competenze degli adulti). Per quanto riguarda altre caratteristiche della qualità della vita, il problema principale degli indicatori in questo settore non è la mancanza di informazioni dettagliate sull'istruzione in sé, ma piuttosto la mancanza

di indagini che misurano sia l'istruzione che gli altri risultati che riguardano la qualità della vita nell'individuo livello.

Dunque, poiché **l'istruzione è un importante predittore** di numerose dimensioni della vita delle persone, tutte le indagini sociali dovrebbero sistematicamente includere informazioni sulle esperienze di apprendimento degli intervistati e dei loro genitori, nonché informazioni su altre caratteristiche che modellano la qualità della loro vita.

### *1.6.3 Ambiente*

Le **condizioni ambientali** sono importanti non solo per la sostenibilità, ma anche per il loro impatto immediato sulla qualità della vita delle persone. Innanzitutto, influenzano in **modo diretto la salute umana**, attraverso ad esempio fattori quali l'inquinamento dell'aria e dell'acqua, le sostanze pericolose e il rumore, ed in **modo indiretto la salute degli ecosistemi**, attraverso ad esempio cambiamenti climatici, trasformazioni nei cicli dell'acqua e dell'acqua, perdita di biodiversità e disastri naturali.

In secondo luogo, gli individui beneficiano dei servizi ambientali, come l'accesso a fonti di acqua pulita e ad aree ricreative, ed i diritti della popolazione in questo settore (compresi i diritti per l'accesso alle informazioni ambientali) hanno raggiunto nel corso degli anni sempre un maggiore riconoscimento. Inoltre, la popolazione attribuisce un valore alle cosiddette “comodità” o “disfunzioni” ambientali, e queste valutazioni influenzano le loro scelte soggettive effettive (ad esempio, dove vivere).

Infine, le condizioni ambientali possono portare a *variazioni climatiche e disastri naturali*, come la siccità e le inondazioni, che danneggiano sia i beni materiali che le vite delle popolazioni colpite.

La **misurazione degli effetti delle condizioni ambientali sulla qualità della vita** delle persone è tuttavia complessa da effettuare. Questi effetti infatti, si manifestano in tempi diversi e gli impatti variano a seconda delle caratteristiche della popolazione, ad esempio sul luogo dove vivono, sul luogo dove lavorano, sulla loro assunzione metabolica. Inoltre, la forza di queste relazioni viene spesso sottovalutata a causa dei limiti dell'attuale comprensione scientifica e della misura in cui diversi fattori ambientali sono stati oggetto di indagini sistemiche. Molti progressi però sono stati raggiunti negli ultimi due decenni in termini di:

- *misurazione* delle condizioni ambientali, attraverso dati ambientali migliori, monitoraggio regolare degli indicatori e strumenti contabili;
- *comprensione* dei loro impatti, per mezzo di valutazione della morbilità e mortalità correlate, produttività del lavoro, gli impegni economici associati al cambiamento climatico, il cambiamento della biodiversità, i danni provocati dai disastri;
- *istituzione* di un diritto di accesso alle informazioni ambientali;
- *individuazione* di indicatori ambientali utilizzati per misurare la pressione umana sull'ambiente, le risposte delle amministrazioni, delle imprese e delle famiglie al degrado ambientale e allo stato attuale della qualità ambientale.

Tuttavia, da una prospettiva di qualità di vita della popolazione, gli indicatori esistenti restano limitati per importanti aspetti. Ad esempio, gli indicatori delle emissioni si riferiscono principalmente alle quantità aggregate di vari inquinanti, piuttosto che alla quota di persone esposte a dosi pericolose.

Gli indicatori esistenti dovrebbero pertanto essere integrati in diversi modi, tra cui il *monitoraggio regolare del numero di morti premature dall'esposizione all'inquinamento atmosferico*; il numero di persone che non hanno accesso ai servizi idrici o che sono esposti a livelli pericolosi di rumore e di inquinamento; il danno causato da catastrofi ambientali.

Sono necessarie misure di rilevazione di variabili soggettive tra la popolazione e valutazioni delle condizioni ambientali nell'area territoriale dove gli individui risiedono.

Poiché molti degli effetti delle condizioni ambientali sulla qualità della vita differiscono tra gli individui, questi indicatori devono riferirsi a persone classificate secondo diversi criteri di classificazione.

## CAPITOLO 2

### LE MATERIE PRIME ENERGETICHE

#### 2.1 La classificazione merceologica delle materie prime

Le risorse naturali sono considerate beni economici poiché possiedono le caratteristiche della **limitatezza**, dell'**utilità** e dell'**accessibilità** e vengono definite in base al ruolo strategico in un definito periodo storico e secondo lo sviluppo tecnologico presente nella società. Le risorse naturali includono i materiali dell'ambiente biologico e fisico esistenti in natura e potenzialmente utilizzabili dall'uomo per produrre merci e per soddisfare i bisogni. Le risorse naturali inoltre, grazie alle determinanti quali *spazio* e *tempo*, sono considerate variabili in qualità e quantità. Per mezzo della tecnologia e del processo produttivo, l'uomo può variarne la quantità e modificarne le caratteristiche qualitative, non potendo però influire sulla loro allocazione, determinata da eventi geologici e processi chimico-fisici di lunghissima durata.

Le materie prime entrano nei sistemi economici come *input* insieme agli altri fattori della produzione, capitale e lavoro. Il sistema li combinerà mediante la tecnologia per produrre come output finale prodotti, rifiuti ed inquinamento.

Secondo le scienze merceologiche, si possono effettuare differenti classificazioni delle risorse, in funzione della loro presenza sulla Terra. Una prima differenziazione è effettuata in base al grado di **permanenza**, distinguendo *le risorse naturali permanenti* dalle *risorse naturali non permanenti*, in funzione alla loro capacità di non diminuire in quantità ed intensità, né per opera del tempo, né come conseguenza dell'azione dell'uomo.

- **Le risorse naturali permanenti** hanno un ciclo naturale che permette il continuo rinnovo che non compromette lo stock di risorse, che resterà costante nel tempo in modo illimitato, non prescindendo dallo sfruttamento dell'uomo. Difatti, la quantità dello stock disponibile non dipende dal tasso di utilizzo nel tempo. A tale categoria appartengono tutte quelle risorse che permettono la produzione di energia da fonti rinnovabili, quali la solare, l'eolica, la geotermica, l'idraulica (comprendente l'idroelettrica, la mareomotrice, il moto ondoso, le correnti marine).
- **Le risorse naturali non permanenti ma riproducibili** hanno un ciclo biologico definito, che permette un tasso di rigenerazione soltanto in funzione di determinati periodi di tempo. Il prelevamento di un dato stock, se superiore alla capacità di rigenerazione della risorsa, può comprometterne la fruibilità. Lo sfruttamento deve avvenire in un tempo superiore alla crescita naturale poiché altrimenti, superata una certa soglia critica, lo stock viene sovra sfruttato e la risorsa tende ad estinguersi nel tempo. A tale categoria appartengono le foreste, i terreni agricoli, le risorse ittiche.
- **Le risorse naturali non permanenti e non riproducibili**, hanno un ciclo naturale finito, che prevede tempi di rigenerazione superiori a quelli del loro utilizzo. Conseguentemente il loro sfruttamento determina delle diminuzioni nello stock delle risorse appartenenti a tale sottocategoria, ed ogni prelievo comporta una irreversibile diminuzione della quantità disponibile per le generazioni future. Tali risorse, anche se in tempi molto lunghi, sono destinate ad esaurirsi. Rientrano in tale categoria le materie prime quali i minerali, i carboni fossili, il petrolio, il gas naturale.

La **riserva** invece è la parte delle risorse naturali che presenta particolari caratteristiche fisiche (tenore chimico, collocazione geologica, dimensione del giacimento, etc.) e, dopo l'attività di prospezione, può essere fruttata e costituire una utilità in termini economici.

Solo una parte delle risorse naturali disponibili viene definita come riserva e la tecnologia esistente ne permette l'estrazione per far sì che il mercato asserisca un valore economico all'attività di estrazione e lavorazione (i ricavi derivanti dall'estrazione della risorsa devono essere maggiori dei costi).

È possibile stimare l'**indice di rigenerazione delle risorse** presenti sul pianeta e derivare l'efficienza dell'attuale sistema economico in funzione della combinazione tra soddisfacimento dei bisogni e dei desideri degli individui in una popolazione.

Pertanto l'**efficienza** è determinata da un corretto uso del flusso di risorse naturali e di materiali (quali legname, acqua, colture, risorse ittiche, minerali). L'interruzione dell'approvvigionamento di materiali di base può portare, infatti, ad un arresto della vita produttiva di differenti settori dipendenti da esse, compromettendo così l'equilibrio economico.

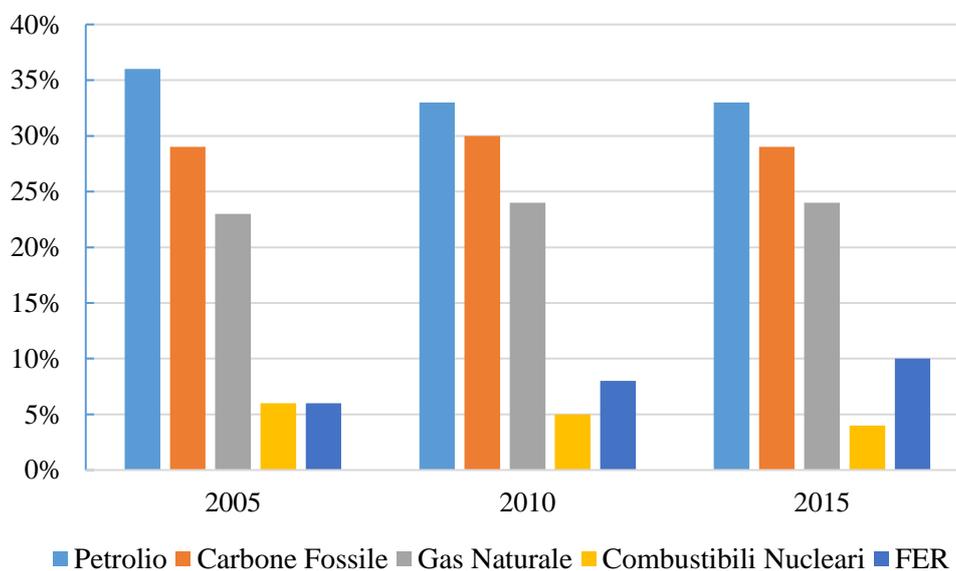
La grande conseguenza dell'estrazione delle risorse naturali permanenti riproducibili e non riproducibili determina uno squilibrio del pianeta, compromettendo la capacità di sostentamento del genere umano: mentre le economie, le popolazioni e la domanda di risorse aumentano, la capacità del pianeta resta invariata.

## **2.2 Le Materie Prime Energetiche**

Le materie prime energetiche sono le fonti dalle quali si ricava l'energia necessaria per le attività domestiche ed industriali. I sistemi di produzione di massa e la crescita tumultuosa

delle relative tecnologie hanno cambiato radicalmente il panorama energetico, andando a definire offerta e domanda delle materie prime in funzione dei bisogni relativi all'accesso al mercato energetico dei vari sistemi (famiglie, industria, servizi).

Dunque le **materie prime energetiche** possono essere classificate in funzione della loro *composizione chimica* e distinguiamo, le **vegetali** (legno, biomasse), le **minerarie** che comprendono le fossili (combustibili fossili: carbone, petrolio e metano - nucleari fissili: uranio e plutonio), gli elementi per la **fusione nucleare** (deuterio e trizio) e le **fonti energetiche rinnovabili** (FER, energia solare, eolica, idroelettrica, geotermica e le biomasse) (Chiacchierini E., et al. 1997). Nella Figura 2.1 è riportata l'analisi della domanda energetica globale comparata riferita agli anni 2005, 2010 e 2015. Come si può notare, grazie agli investimenti in FER, la domanda delle risorse energetiche di origine mineraria presenta una diminuzione, a favore della generazione energetica basata sulle risorse energetiche rinnovabili e sulle materie prime di origine vegetale.



**Figura 2.1 Consumi energetici globali comparati (2005, 2010, 2015). Dati elaborati da World Energy Resource Report, 2016.**

### 2.2.1 Le Materie Prime Energetiche Minerarie

Le materie prime energetiche di origine mineraria sono i combustibili fossili (carbone, petrolio, metano) ed i combustibili nucleari fissili (uranio). I combustibili fossili dominano l'economia energetica mondiale, coprendo più dell'80% del totale dell'energia primaria di 479 EJ (Heinimö et al., 2009).

*Il carbone fossile* è una fonte energetica definita “storica” in quanto rappresenta la prima materia prima energetica ad essere stata impiegata nello sviluppo industriale. Tale materia prima rappresenta ancora oggi largo impiego in numerose economie specialmente dei PVS, andando a compromettere la qualità dell'ambiente. Con il termine carbone fossile si intendono *materiali organici sedimentari di origine vegetale* (grandi foreste e piante acquatiche), *accumulatisi in ere geologiche lontane* (principalmente Paleozoico superiore) *ed in condizioni tali che ne hanno impedito la completa decomposizione*. Il processo di carbonificazione o **carbogenesi** avrebbe comportato, sotto l'azione combinata di funghi e batteri e di agenti chimici e fisici differenti, variazioni biochimiche e geochimiche della vegetazione secondo la serie geologica torba-lignite-carbone fossile.

Il **carbonio** rimane il principale componente del carbone dopo che gli altri componenti fondamentali della materia vivente originaria (idrogeno, ossigeno e azoto) sono progressivamente venuti meno durante i processi chimico-fisici che l'hanno trasformata. Il **potere calorifico** è però piuttosto basso, la quantità di scorie è elevatissima come anche l'inquinamento fisico-chimico prodotto. La **reperibilità** del carbone è diminuita, a causa dello sfruttamento dei giacimenti europei e statunitensi: il 95% dei giacimenti di carbone si trova nell'emisfero settentrionale (il 60% ripartito tra Cina, USA e Russia); in Europa i giacimenti più consistenti sono localizzati nei Paesi centro-settentrionali, Gran Bretagna, Belgio, Olanda, Germania, Polonia, Russia e nord della Francia.

*Il petrolio* costituisce la principale fonte energetica della seconda metà del '900, e rappresenta una delle principali risorse economiche e geostrategiche per i Paesi in quanto il controllo delle riserve e dei giacimenti rappresenta un vantaggio economico e finanziario rispetto ad altri Paesi. Il petrolio come il carbone fossile è una **materia prima globale** poiché è necessaria anche per la produzione di prodotti chimici e viene classificato tra i combustibili liquidi. È un *composto di natura fossile facilmente infiammabile, viscoso, di colore da bruno chiaro a nero, di odore spesso sgradevole; si trova in natura in rocce sedimentarie ed è costituito da una miscela complessa composta prevalentemente da idrocarburi.*

Il petrolio ha **origine organica**, formato a partire dal *sapropel* (melma ricca di resti organici acquatici accumulati insieme a sedimenti inorganici in acque marine o salmastre. Azioni chimiche, fisiche e microbiologiche avvenute nei millenni passati hanno trasformato tale substrato nel prodotto definito petrolio. Il **processo di formazione** del petrolio avviene per opera di microrganismi che, per mezzo di processi anaerobici, disgregano gli organismi depositati sul fondo e ricoperti da detriti terrosi e minerali, formano strati di fango ricchi di sostanza organica. La **distribuzione** dei principali bacini petroliferi nel mondo non è uniforme e dipende dalle particolari condizioni geologiche necessarie alla formazione di grandi giacimenti e dalle difficoltà di esplorazione e di ricerca in aree isolate e poco conosciute come le zone caratterizzate da condizioni ambientali particolarmente severe (Siberia, le aree di foresta pluviale del Sudamerica e aree offshore). I bacini petroliferi più importanti presentano caratteristiche geologiche molto diverse tra loro, ma con elementi comuni. I **luoghi sedimentari** dove si riscontra maggiormente la presenza di idrocarburi sono le aree in cui siano presenti depositi marini ricchi di sostanza organica (roccia madre), prevalentemente in aree continentali stabili, dove sedimenti detritici provenienti dalle terre emerse formano spessi depositi di materiale permeabile

(roccia serbatoio) ricoperti da depositi marini fini (roccia di copertura). Per questo molti dei bacini più produttivi si trovano lungo le coste dei continenti: nei bacini nordamericani del Texas e della Louisiana, nel bacino del Golfo del Messico; nei bacini messicani di Tampico- Misantla e Sureste; in quelli centroafricani del delta del Niger e del Congo Basin ed in quello della Siberia occidentale. Situazioni simili con bacini più allungati e stretti si formano anche nelle fosse che bordano aree di subduzione. In queste zone le *deformazioni tettoniche* possono creare efficaci trappole strutturali, come nei bacini di venezuelani ai margini della catena andina o nel bacino di Sumatra.

Regioni favorevoli alla formazione di riserve importanti sono anche i bacini profondi a rapida sedimentazione, come nel Bacino Renano (Europa) e nel Mare del Nord, che rappresentano le riserve più importanti dell'Europa occidentale.

Ma è nelle aree di collisione continentale che si realizzano in genere le situazioni più favorevoli alla formazione di numerose e importanti trappole strutturali. In queste zone i **giacimenti** sono spesso molto numerosi e di grande volume: gli enormi bacini petroliferi mediorientali, i più estesi e importanti del mondo seguono l'andamento delle catene montuose nate dalla collisione tra placca euroasiatica e placca arabica.

*Il gas naturale* è un idrocarburo appartenente alla serie degli alcalini, è il principalmente composto da gas metano e costituisce una materia prima energetica globale. Il gas naturale si forma per **decomposizione fermentativa** (effettuata da microrganismi anaerobici) di resti vegetali accumulatisi in terreni paludosi. Tale materia prima ha conosciuto recentemente una forte crescita in termini di produzione e consumo, mentre in precedenza era considerato una sorta di surrogato del petrolio e veniva disperso o bruciato sul luogo di estrazione.

Il gas naturale prima di essere avviato all'utilizzo deve essere sottoposto a specifici **trattamenti** in modo da eliminare l'anidride carbonica e l'azoto, che lo rendono poco

inflammabile, e l'idrogeno solforato che è un gas tossico e corrosivo. Ciò che resta è prevalentemente metano. Il metano è formato da un atomo di carbonio e quattro di idrogeno (CH<sub>4</sub>).

La **localizzazione geografica** delle riserve di gas rispecchia, per ovvi motivi, quella del petrolio: Russia, Iran e Qatar possiedono circa il 44% delle riserve di gas naturale. Lo sfruttamento dei giacimenti avviene in maniera diseguale: il Medio Oriente, ad esempio, estrae poco gas in rapporto alle riserve disponibili e, pur possedendo il 40% delle riserve mondiali produce solo il 16% del gas consumato in un anno da tutto il mondo; contrariamente, gli Stati Uniti ed l'Europa occidentale estraggono gas a ritmi elevati in rapporto alle riserve disponibili. Gli Stati Uniti, infatti, nonostante posseggano solo il 4,5% delle riserve mondiali provate di gas naturale, producono oltre il 19,6% del gas consumato nel mondo.

Le **riserve mondiali** provate di gas naturale ammontano 200.741 miliardi di m<sup>3</sup> (ENI, World Oil & Gas Review 2016). Se si dividono le riserve provate per il consumo mondiale annuo di gas (nel 2015, pari a 3.399 miliardi di m<sup>3</sup>), otteniamo che, mantenendo questo ritmo di sfruttamento, le riserve si esauriranno nel giro di circa 59 anni.

**I combustibili nucleari** sono la materia prima per produrre energia elettronucleare mediante reazione nucleare di fissione o fusione.

Nella reazione nucleare di **fissione** il nucleo di un atomo pesante si scinde in due o più nuclei, mentre nella reazione nucleare di **fusione** due nuclei leggeri si uniscono a formare un nucleo più pesante. I nuclei di atomi utilizzati per la fissione sono l'uranio 233 e 235 ed il plutonio 239. L'uranio 235 è l'unico che si trova in natura, mentre l'uranio 233 ed il plutonio 239 vengono prodotti artificialmente dagli stessi reattori nucleari.

Nella reazione nucleare di fusione, le reazioni avvengono per mezzo *dell'unione di nuclei di atomi leggeri di idrogeno e deuterio*. Le reazioni di fusione sono riconducibili a: *deuterio-deuterio; deuterio-trizio; deuterio-elio*.

### *2.2.1 Le Materie Prime Energetiche Vegetali*

Le **materie prime energetiche di natura vegetale** rientrano nella classificazione delle materie prime rinnovabili e sono generalmente definite con il termine **biomassa**.

La definizione di biomassa secondo l'art. 2 del DLgs 387/2003, il quale deroga alla Direttiva 2001/77/CE stabilisce che "*[...] per biomassa si intende la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani*".

La definizione di biomassa ai sensi del DLgs 387/2003, è stata ampliata dal recente DLgs 28/2011 recante attuazione della Direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE". L'art. 2, lettera e), definisce la biomassa come "*la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, gli sfalci e le potature provenienti dal verde pubblico e privato, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani*".

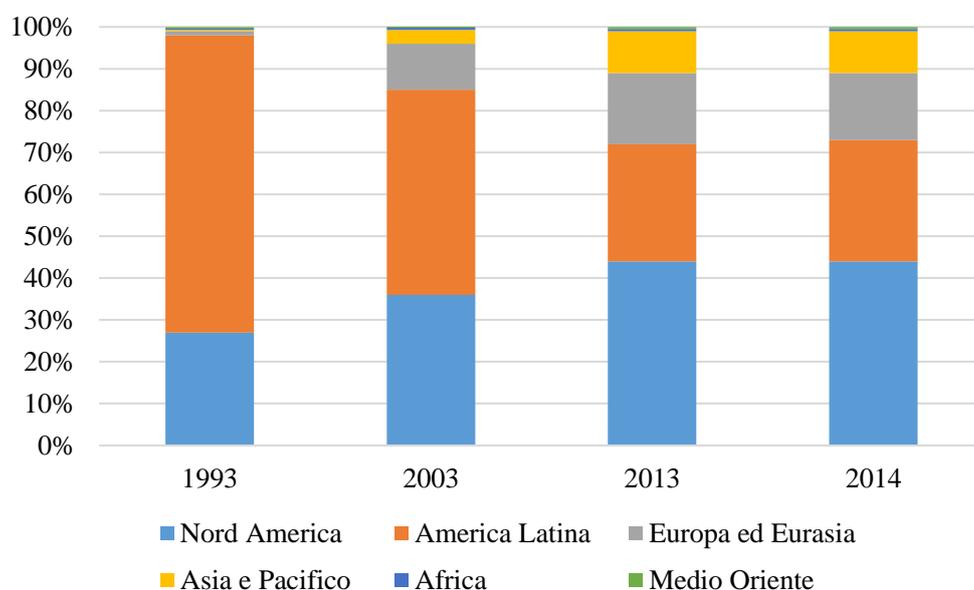
Oltre alla definizione generale sono poi distinti i seguenti composti (art. 2):

- **bioliquidi:** *“combustibili liquidi per scopi energetici diversi dal trasporto, compresi l'elettricità, il riscaldamento ed il raffreddamento, prodotti dalla biomassa”*;
- **biocarburanti:** *“carburanti liquidi o gassosi per i trasporti ricavati dalla biomassa”*;
- **biometano:** *“gas ottenuto a partire da fonti rinnovabili avente caratteristiche e condizioni di utilizzo corrispondenti a quelle del gas metano e idoneo alla immissione nella rete del gas naturale”*.

Le biomasse dunque, comprendono una gamma molto vasta di prodotti, che va dai **residui di origine vegetale** (colture spontanee e residui del settore agroforestale, residui dell'industria agro-alimentare), **colture energetiche dedicate**, **biomasse di origine animale** (reflui zootecnici), **frazione biodegradabile dei rifiuti**.

L'**energia** delle biomasse può essere sfruttata per via diretta attraverso la combustione per ottenere calore e/o energia, o per via indiretta trasformando la biomassa in prodotti derivati. Il miglior sfruttamento di questa risorsa dipende comunque dalle **caratteristiche chimico-fisiche** della materia prima, specialmente dal grado di umidità in essa contenuto che costituisce una variabile importante per lo sviluppo della filiera. Nella Figura 2.2 è riportato un confronto per area geografica e per anno riguardo la produzione di biocarburanti: la produzione supportata dai processi legislativi e dai Protocolli ambientali ha registrato una più equa distribuzione della produzione dal 1993 ad oggi, con la partecipazione ai processi di coltivazione, trasformazione, produzione ed utilizzo di alcune macro-aree dei PVS, quali America Latina ed Asia. Per quanto riguarda invece i Paesi del Medio Oriente, tra i maggiori produttori petrolio, essi presentano scarso interesse riguardo investimenti in produzione ed utilizzo di biocarburanti.

L'UE invece persegue gli obiettivi dei criteri di sostenibilità esplicitati nella direttiva 28/2009/CE, al fine di raggiungere una quota di produzione di biocarburanti destinati ai trasporti, in particolare i biocarburanti liquidi (etanolo e biodiesel) e combustibili gassosi (biometano) pari al 10% entro il 2020. Inoltre, i criteri si applicano anche ai bioliquidi, generalmente utilizzati in altre applicazioni come il riscaldamento, il raffreddamento e l'elettricità. Però non tutti i prodotti di bioenergia sono inclusi in quanto i criteri contenuti nella Direttiva non riguardano la biomassa come risorsa per l'industria chimica e la biomassa solida e gassosa utilizzata in altre applicazioni differenti dal trasporto.



**Figura 2.2 Produzione media comparata di biocarburanti in diverse macro-aree geografiche. Dati rielaborati da informazioni contenute nel World Energy report, 2015.**

La biomassa viene convertita in molti **prodotti intermedi e finali**. Di solito, il primo passo di trasformazione converte la biomassa in prodotti che sono più facili da gestire rispetto alle colture convenzionali. Esempi sono *pellets*, *oli vegetali*, *olio di pirolisi*, *etanolo*, *syngas* e *biometano*. Alcuni di essi stessi sono prodotti finali (ad esempio bioetanolo), altri

vengono convertiti in prodotti come *il biodiesel, la biodiesel, la bioplastica, il biometano e la bio-elettricità*. Molti dei prodotti hanno più di una domanda, ad esempio biometano, che viene utilizzato per il trasporto e per il riscaldamento. Un altro esempio è l'uso di etanolo per il trasporto e per l'industria chimica. In entrambi gli esempi, i criteri dell'UE riguardano solo l'applicazione per il trasporto. A seconda del processo di produzione e trasformazione della biomassa si possono distinguere due differenti categorie: la biomassa da coltivazione e la biomassa da rifiuto.

**La biomassa da coltivazione.** Le biomasse da coltivazione, secondo la classificazione relativa alle generazioni, rientrano nel gruppo delle biomasse di *prima generazione*, ovvero derivanti da colture alimentari come mais, soia, palma e canna da zucchero. Secondo le stime della FAO, globalmente 4,5 miliardi di ettari di terreno su circa 13 miliardi sono adatti alla coltivazione (FAO, 2016). Di questi 4,5 miliardi circa 1,8 miliardi di ettari non sono disponibili per la produzione vegetale in quanto vengono utilizzati per scopi non agricoli (ad esempio aree urbane e protette) o destinati alle foreste. Così, la parte di terreno destinata alla produzione di colture si riduce ulteriormente, andando a raggiungere circa 1,5 miliardi di ettari e i restanti 1,4 miliardi di ettari sono idonei ma non utilizzati fino ad oggi e pertanto potranno essere assegnati in futuro per la fornitura di bioenergia (IEA, 2016). Il **potenziale di coltura** della bioenergia è stimato moltiplicando le rese di colture bioenergetiche (in tonnellate per ettaro all'anno, *t/ha/anno*) per il terreno di surplus disponibile (ha). Il terreno di surplus disponibile viene calcolato sottraendo la domanda di terreni per usi non energetici da terreni potenzialmente disponibili (Alakangas et al., 2007). Il sistema legislativo di differenti categorie di Paesi supporta la crescita di investimenti per aumentare la produzione di prodotti a scopo energetico derivanti da biomasse. I prodotti finiti maggiormente impiegati nella generazione energetica sono i biocarburanti, particolarmente in riferimento al loro ruolo di sostituti rispetto ai combustibili fossili.

La produzione mondiale di biocarburanti è aumentata del 2,6% nel 2016, raggiungendo circa 86 miliardi di litri. Gli Stati Uniti sono il più grande produttore mondiale, seguiti dal Brasile e dall'Unione Europea (BP, 2017).

Nello specifico, la produzione globale di **etanolo** nel 2016 è aumentata dello 0,7%: la canna da zucchero è la coltura dominante con Brasile, Messico e Colombia che hanno registrato una produzione regionale pari rispettivamente al 82%, 7% e 4% (FAOstat, 2017).

La produzione di **biodiesel** è aumentata del 6,5%: l'olio di palma invece è la coltura dominante per la produzione di biodiesel con Colombia, Brasile ed Ecuador che hanno registrato una produzione regionale pari rispettivamente al rispettivamente il 51%, il 18% e il 18%<sup>3</sup>. Si può comunque affermare che la produzione di biocarburanti liquidi è basata principalmente sull'etanolo, con USA e Brasile che rappresentano circa l'85% della produzione totale (BP, 2016; BP 2017).

I problemi maggiormente associati alla coltivazione di biomasse a scopi energetici riguardano molti aspetti dell'ambiente naturale, come ad esempio la pressione sulle risorse idriche (Frangione et al., 2010) e la deforestazione (Goetz et al. 2015), la perdite di energia al netto delle emissioni di gas serra, un aumento dei prezzi dei prodotti alimentari (FAOstat, 2016; Heinimo 2008; Rosillo-Calle et al. 2006).

**La biomassa da rifiuto.** Le biomasse da rifiuto vengono classificate come seconda generazione ed a questa categoria appartengono i residui agricoli e zootecnici che vengono processati per la generazione di energia elettrica e calore. Ogni prodotto agricolo ha un tasso specifico di produzione di residui basato sulle sue caratteristiche morfologiche, sulla gestione delle aziende agricole e sul processo post-raccolto. Il potenziale di approvvigionamento dei residui agricoli è calcolato moltiplicando i coefficienti di residuo

---

<sup>3</sup> FAO Stat database: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>

(percentuale di quantità di residui nel raccolto totale) con i volumi di produzione delle materie prime (in tonnellate all'anno) (Liu et al. 2013). In realtà, la maggior parte dei residui non vengono utilizzati per l'energia perché sono difficili da raccogliere o utilizzati per scopi specifici, come ad esempio per la conservazione del suolo.

I metodi per la generazione energetica delle biomasse da rifiuto possono differenziarsi in due categorie, **la combustione o la gasificazione**.

La gasificazione è un processo ad alta temperatura che produce un gas combustibile il quale presenta una buona prestazione ambientale e un'elevata flessibilità nelle applicazioni. Il processo è usato per convertire la biomassa (biomassa solida, i rifiuti) in un gas combustibile, detto biogas, prodotto dalla fermentazione anaerobica di diverse forme di materia organica (Shi et al., 2013) e composto principalmente da metano (CH<sub>4</sub>) e biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>).

Le materie prime utilizzate per la produzione di biogas sono i reflui zootecnici e antropici, i residui della produzione vegetale, la frazione organica dei rifiuti urbani e industriali, nonché le colture energetiche. In molti paesi, il gas viene utilizzato per la combustione diretta nelle stufe domestiche e per l'illuminazione (Jiang et al., 2017), tuttavia lo sfruttamento di biogas nei PVS è ancora rara a causa delle barriere tecnologiche.

I Paesi leader nella produzione di biogas includono la Germania, l'India e la Cina. L'uso del biogas per il trasporto è dominante nella regione dell'UE. Un esempio della crescente importanza di questa forma di energia sia nei PA che nei PVS è rappresentata dalle iniziative di partnership tra Dong Energy e Novozymes, Novo Nordisk e Bigadan<sup>4</sup> per aumentare l'offerta di biogas da biomassa sul mercato europeo.

---

<sup>4</sup> Un esempio emblematico è costituito dal distretto industriale di Kalundborg in Danimarca. Il sistema è stato costituito progressivamente a partire dal 1961, per mezzo di relazioni di simbiosi industriale che hanno costituito una fitta rete di scambi di materie prime seconde, scarti di produzione e forme residue di energia tra la municipalità e le imprese insediate nel territorio, contribuendo ad

## 2.3 Domanda Energetica e Impatto Ambientale

Dal 2005 si è assistito a dei cambiamenti senza precedenti riguardo il consumo di risorse naturali per l'impiego energetico. Si è registrata una crescita rilevante rispetto al settore delle energie rinnovabili (FER) che ha mutato il panorama del settore energetico anche in termini di investimenti, verificatosi sia nei PA che nei PVS (Enerdata, 2016). Inoltre, risorse non convenzionali e il miglioramento relativo allo sfruttamento delle risorse apportato dalla tecnologia per tutte le forme di risorse energetiche ha contribuito a modificare la domanda e l'offerta di energia, sia in termini di prezzi che di emissioni. Il mix energetico a livello di offerta globale risulta diversificato, con una crescita delle micro reti specialmente nelle aree rurali dei PVS.

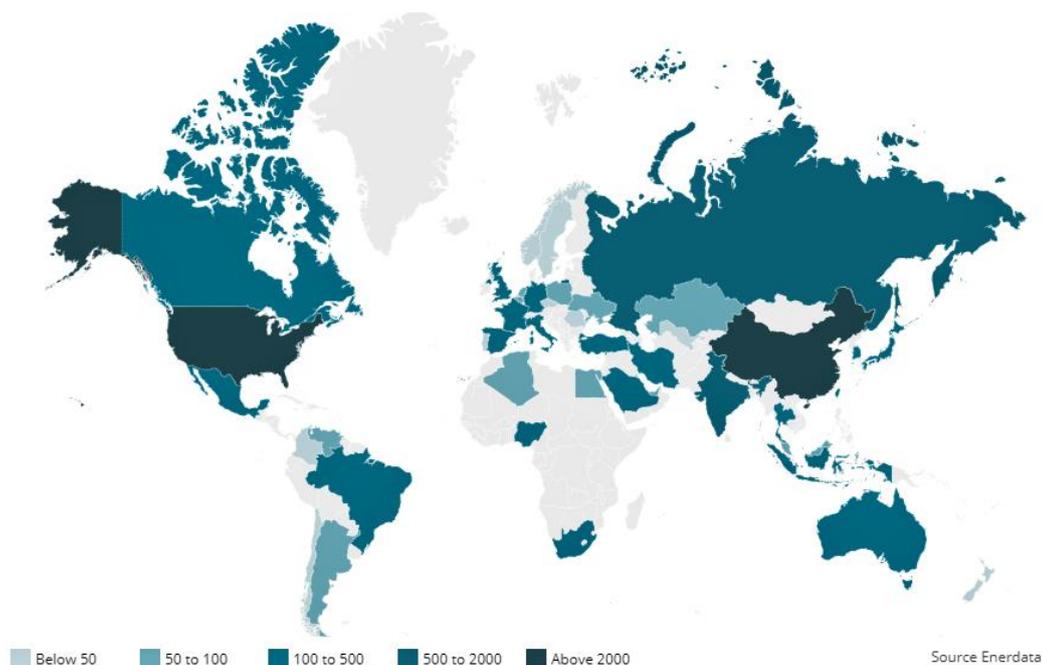
Nella Figura 2.3 viene riportata una cartina cromatografica che rappresenta il consumo mondiale di energia nel 2016 in mega tonnellate di petrolio equivalente (Mtoe). Le aree che presentano una domanda più elevata di energia sono gli USA e la Cina, seguite dai PA e dai BRICS, tra cui Canada, Europa, Brasile, Russia, India, Sud Africa e alcuni Paesi Arabi. I PVS invece registrano una più bassa domanda energetica, principalmente a causa delle barriere tecnologiche che precludono l'accesso al mercato energetico.

Nella Figura 2.4 invece, viene riportata una cartina cromatografica raffigurante la produzione (dunque l'offerta) nazionale interna di ogni Paese. Dalla presente figura si evince come USA e Cina risultino non solo consumatori, ma anche maggiori produttori di energia, seguiti anche dalla Russia. La produzione energetica europea invece risulta centralizzata in alcuni Paesi, quali Germania, Francia e Norvegia, mentre spicca la produzione energetica di

---

incrementare l'efficienza dei singoli processi produttivi ed a ridurre fortemente l'impatto ambientale. Tali meccanismi consentono di realizzare la riduzione dei costi di produzione attraverso l'accesso a risorse secondarie di costo inferiore ed allo smaltimento remunerativo degli scarti di processo.

Algeria ed Egitto. Per la prima volta dal 2009 si è verificato il rallentamento della produzione delle fonti di energia fossili. Nello specifico, la Cina ha contribuito in modo significativo a questa tendenza con un notevole calo della produzione di carbone, a causa della fase di decarbonizzazione che sta caratterizzando la sua economia.

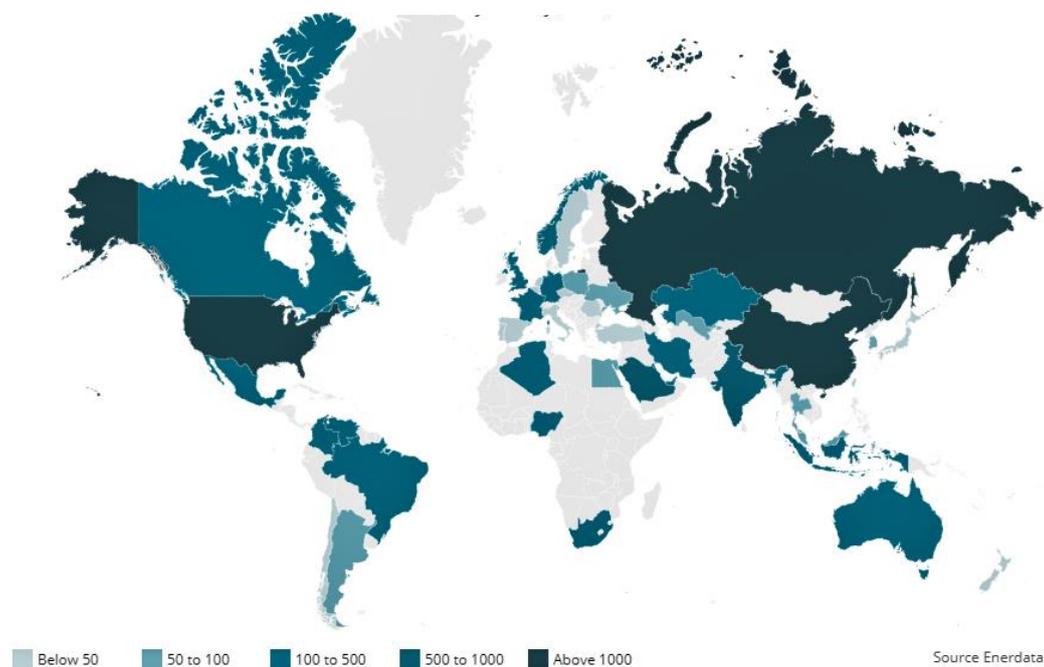


**Figura 2.3 Mappa cromatografica della domanda energetica globale espressa in mega tonnellate di petrolio equivalente (Mtoe). Fonte - Enerdata, 2016.**

La riduzione ha riguardato anche i Paesi dell'UE, nei quali si è verificato un rallentamento a causa sia delle politiche di decarbonizzazione relative al clima, sia al progressivo esaurimento delle risorse petrolifere e del gas. Russia, Arabia Saudita ed Iran (dopo la fine delle sanzioni internazionali) ed i Paesi in rapida crescita, India e Turchia sono stati i principali attori sulla scena della produzione energetica globale nel 2016.

Parallelamente però, le emissioni di GHGs nel 2016 sono state uguali a quelle registrate nell'anno precedente (International Energy Agency, 2016), specialmente per la maggiore

efficienza energetica raggiunta dai PA e dall'utilizzo più ampio di fonti di energia rinnovabili (FER).

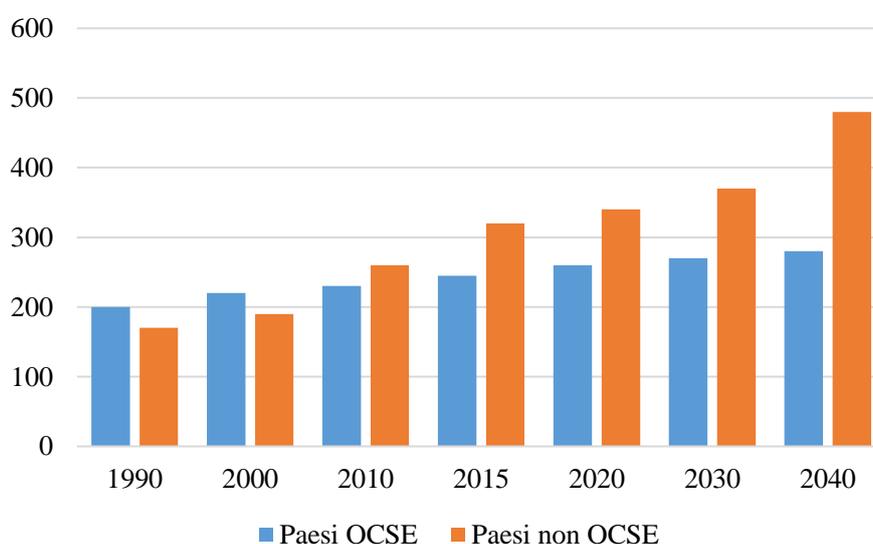


**Figura 2.4 Mappa cromatografica dell'offerta energetica globale espressa in mega tonnellate di petrolio equivalente (Mtoe). Fonte - Enerdata, 2016.**

Infatti gli investimenti in FER nell'anno 2016 hanno raggiunto 1,8 trilioni di dollari (\$), a scapito di una riduzione degli investimenti in metodi di estrazione e tecnologia per l'impiego di fonti energetiche fossili. A dimostrazione di ciò, i sussidi per l'impiego di combustibili fossili è diminuito di \$325 miliardi, rispetto ai \$500 miliardi di dollari investiti nell'anno 2014. Tale andamento al ribasso è stato registrato anche dal crollo dei prezzi dei combustibili fossili (REN21, 2016)).

Il settore energetico comunque compone la sua offerta principalmente sui combustibili fossili, provocando il rilascio nell'atmosfera di gas quali CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, protossido di azoto (N<sub>2</sub>O) e zolfo (SH<sub>4</sub>), anche noti come gas climalteranti (greenhouse gases, GHGs).

Le proiezioni di crescita della domanda energetica sono riportate nella Figura 2.5 in base ai dati forniti dall' Official Energy Statistics from the U.S. Government. La domanda energetica mondiale si prevede registrerà un incremento del 28% dal 2015 al 2040 specialmente nei Paesi che hanno difficoltà di accesso alla rete elettrica, ovvero i Paesi che non rientrano nella *Convenzione sull'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico*.



**Figura 2.5 Consumo energetico mondiale dal 1990 al 2015 e proiezioni della domanda energetica fino al 2040. Dati elaborati su fonti fornite da Official Energy Statistics from the U.S. Government, 2017**

La Convenzione OCSE è stata firmata il 14 dicembre 1960 ed entrata in vigore il 30 settembre 1961 e ad oggi conta 35 Paesi<sup>5</sup>, mentre sono in corso i lavori per l'adesione di

---

<sup>5</sup> Australia, Austria, Belgio, Canada, Cile, Danimarca, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Giappone, Gran Bretagna, Grecia, Irlanda, Islanda, Israele, Italia, Lettonia, Lussemburgo, Messico,

Colombia, Lituania e Costa Rica; riflette attualmente sull'avvio del processo di adesione di altri 7 Paesi candidati (Argentina, Brasile, Bulgaria, Croazia, Perù, Romania e Sri Lanka) mentre il processo di adesione della Federazione Russa, avviato nel 2007, è stato rinviato nel 2014 a seguito delle vicende in Ucraina. Dunque lo scopo dell'Organizzazione è quello di assistere i Paesi nel processo di avanzamento tecnologico e nella cooperazione al fine di favorire soluzioni pratiche per permettere alle popolazioni di avere una qualità della vita elevata, comprese le tematiche relative allo sviluppo sostenibile. Per tale ragione, il problema dell'incremento della domanda energetica è un tema centrale per l'Organizzazione politica e per definire misure adeguate per quei Paesi non OCSE che possano permettere l'accesso al mercato energetico senza compromettere la salute dell'ecosistema.

### *L'Accordo di Parigi*

L'impegno internazionale riguardo la riduzione delle emissioni relative al settore ha preso forma con l'**Accordo di Parigi** sul cambiamento climatico, entrato in vigore nel novembre 2016. Considerato come una svolta storica nella politica internazionale del clima, l'Accordo di Parigi ha definito una risoluzione firmata ad ottobre da 192 Paesi e ratificata da 115, che insieme rappresentano il 79% delle emissioni globali.

Tale documento, all'**articolo 2** stabilisce i tre strumenti principali al fine di mitigare l'azione dei cambiamenti climatici sul pianeta. La prima misura riguarda gli sforzi per mantenere la temperatura globale a 1,5 ° C rispetto ai livelli preindustriali; la seconda

---

Norvegia, Nuova Zelanda, Paesi Bassi, Polonia, Portogallo, Repubblica Ceca, Repubblica di Corea, Repubblica Slovacca, Slovenia, Spagna, Stati Uniti, Svezia, Svizzera, Turchia, Ungheria.

azione renderebbe possibile l'adattamento per tutte le Parti; il terzo strumento introdurrà un meccanismo di finanziamento per costruire resilienza ai cambiamenti climatici e finanziare lo sviluppo di iniziative a basso carbonio.

Le tre proposte finali hanno implicazioni dirette sulle future politiche energetiche nazionali, in quanto la temperatura target stabilita durante l'Assemblea richiede una profonda trasformazione nei processi che regolano l'amministrazione interna del sistema energetico. Ad esempio, una maggiore importanza verrà attribuita al sistema dei prezzi delle emissioni di carbonio per la regolamentazione delle tecnologie di produzione e consumo di energia, al meccanismo di fondo per la ricerca e lo sviluppo, in connessione con il mercato finanziario e dei beni di carbonio.

Inoltre, nell'**articolo 7** si promuove la cooperazione e la collaborazione nei singoli Paesi e tra i Paesi, al fine di rafforzare la resilienza e la riduzione delle vulnerabilità ai cambiamenti climatici per contribuire al modello dello sviluppo sostenibile e garantire una risposta adeguata all'adattamento nel contesto dell'obiettivo di temperatura di cui all'articolo 2.

Infine, l'**articolo 10** concentra l'attenzione sull'importanza dello sviluppo tecnologico e del trasferimento del know-how e riconosce l'importanza della cooperazione stabilita secondo il “*Technology Mechanism*”, uno strumento per facilitare e valorizzare la visione a lungo termine per promuovere la crescita economica e lo sviluppo sostenibile attraverso approcci collaborativi di ricerca e sviluppo.

In questo contesto, il ruolo della *cooperazione territoriale per il riutilizzo dei materiali*, la *conoscenza delle parti* e la *promozione della collaborazione nel settore privato e nel settore pubblico* svolge un ruolo fondamentale nel rafforzamento della promozione e gestione del capitale naturale, della riduzione dei rifiuti e della mitigazione dei cambiamenti climatici attraverso la collaborazione industriale.

L'accordo di Parigi sta cercando di modificare la vera visione economica e lo scenario energetico, agendo sulla composizione degli approvvigionamento energetici, basati principalmente sui combustibili fossili sin dal 1970. Inoltre, le previsioni economiche espansionistiche degli attuali modelli di sovrapproduzione definiscono nel medio-lungo periodo una continua e negativa allocazione e gestione delle risorse naturali.

L'obiettivo della temperatura sotto i 2 °C stabilito dall'Accordo, richiede un profondo processo di trasformazione e una nuova conoscenza intrinseca dei nostri sistemi energetici. Politiche nazionali credibili ed efficaci sono fondamentali per tradurre le promesse svolte a Parigi nella politica interna.

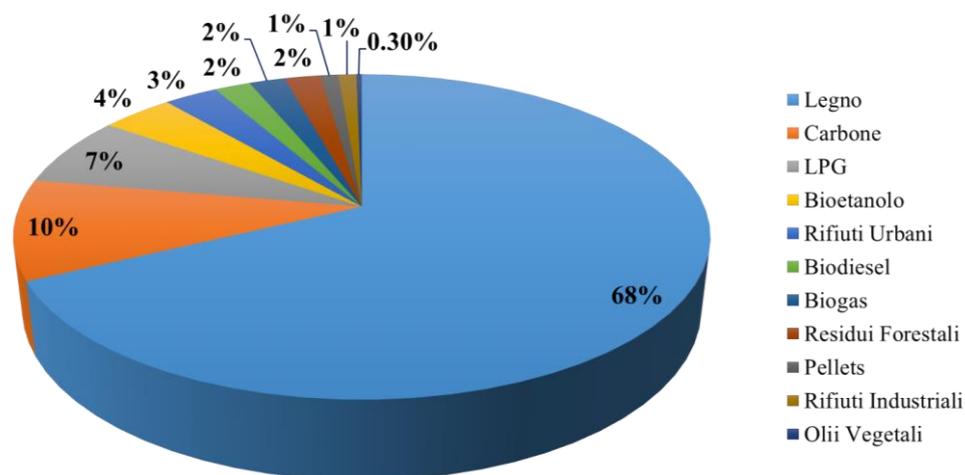
Sarà necessario mettere in atto nuove politiche e rivedere quelle precedenti: le emissioni di carbonio saranno valutate; saranno regolamentate le tecnologie di produzione e consumo di energia; saranno disponibili finanziamenti per la ricerca e lo sviluppo; e i beni a basso tenore di carbonio saranno alimentati dai mercati finanziari. Le principali interruzioni del mercato verranno sperimentate da parte degli stessi partecipanti al mercato e dei governi, inclusi i beni e le innovazioni tecnologiche.

## **2.4 Le Biomasse come fonte di sviluppo sostenibile per l'accesso all'energia**

Le biomasse vengono considerate come una fonte di energia versatile poiché al contrario di altre fonti energetiche possono essere convertite in combustibili solidi, liquidi e gassosi.

Il problema del cambiamento climatico e quello dell'indipendenza energetica sono fattori che hanno inciso in maniera positiva sugli investimenti nel campo delle bioenergie, specialmente per quei Paesi che utilizzano un mix energetico inclusivo delle FER.

Difatti, la bioenergia fornisce il 10% dell'approvvigionamento energetico globale, ma il modello di impiego e consumo varia geograficamente. Troviamo maggiore utilizzo di biocarburanti nelle Americhe; di legno e carbone in Asia ed in Africa; sistemi di co-generazione di calore e di energia in Europa (Global Energy Statistical Yearbook, 2017). Nei PA, nei quali la spesa in Ricerca e Sviluppo (R&S) e gli investimenti in tecnologia sono maggiori, la bioenergia viene promossa come fonte alternativa e più sostenibile rispetto all'impiego di idrocarburi. Differentemente avviene nei PVS, dove sono presenti imponenti barriere tecnologiche che determinano un'offerta energetica basata sull'utilizzo di biomasse tradizionali a basso costo e facilmente accessibili (per lo più legno e biomasse di origine animale). Questi Paesi dipendono per il 65% della domanda energetica totale da fonti energetiche legate alla biomassa e la risorsa maggiormente utilizzata è rappresentata dal legno (Figura 2.6).



**Figura 1.6 Domanda energetica biomasse 2013 (Elaborazione su dati World Bioenergy Association 2016)**

Generalmente, la **biomassa legnosa** rappresenta la risorsa maggiormente utilizzata a scopi energetici a livello mondiale e l'energia totale derivante da biomassa di origine forestale è stimata essere pari a 56 Exajoule (EJ), equivalente a soddisfare il 10% della domanda energetica annuale mondiale (IEA, 2017). Il legno ha particolari caratteristiche: è un materiale naturale, riciclabile e continuamente rigenerabile per eccellenza. Il suo utilizzo è preferibile rispetto a materiali la cui estrazione comporta il loro esaurimento, come le materie prime energetiche minerarie. Il legno viene impiegato come combustibile nelle sue diverse tipologie naturali, subendo trasformazioni fisiche che ne modificano l'impiego. Questa materia prima viene utilizzata a scopi energetici principalmente per mezzo del processo di combustione e circa 1/3 della popolazione mondiale usa la risorsa legnosa come combustibile domestico. La differenziazione nell'utilizzo però viene effettuata a seconda del reddito medio pro-capite delle popolazioni risiedenti in determinati Paesi, distinguendo i PA dai PVS. Infatti, nei PA i sistemi tecnologici avanzati sono maggiormente accessibili e l'utilizzo del legno per scopi energetici avviene secondo una filiera responsabile, nella quale l'utilizzo della materia prima segue i principi della domanda controllata, decentrata e distribuita (Hillring, 2006). Secondo tale principio, l'utilizzo del legno nella filiera legno-energia consente un maggior controllo territoriale, sviluppando l'industria in prossimità dei consumatori e permettendo l'accesso alla risorsa in modo equo e ben distribuito. Nei PA, in particolare nei Paesi scandinavi, in Francia, Belgio e Austria, l'utilizzo della legna da ardere viene impiegata sia per il riscaldamento che per il teleriscaldamento, per mezzo di stufe di piccole o medie dimensioni alimentate con diverse tipologie di legno per dimensioni (in pezzi, cippato, trucioli o segatura, pellets) e provenienza. Nonostante l'elevato potenziale di cui dispone, nel quadro europeo l'Italia si pone in una condizione di scarso sviluppo insieme a Portogallo, Grecia e Spagna.

Nei PVS invece l'utilizzo di legna da ardere avviene in assenza di politiche di supporto specifiche alla filiera, alimentando pratiche non regolate relative alla sostenibilità ambientale e incrementando i problemi di salute connessi al processo di combustione non controllato.

La materia organica di origine vegetale infatti, come il legno o il carbone, è da sempre stata utilizzata nei PVS e nelle zone rurali come fonte primaria di energia (Sander, 2011): è maggiormente impiegata per cucinare, per il riscaldamento della casa (o per riscaldare l'acqua a scopi igienici) e per altri scopi domestici, per la lavorazione agricola e per l'industria nei Paesi che non hanno accesso alla rete elettrica, poiché è una materia prima gratuita, facilmente accessibile e immediatamente disponibile. Le biomasse tradizionali rappresentano la fonte principale di energia primaria domestica, nonostante i problemi di salute e ambientali associati alla sua combustione inefficiente (Ruiz-Mercado et al., 2010). Alcuni degli aspetti problematici connessi all'utilizzo della biomassa tradizionale con tecnologie scarse o inefficienti, includono problemi legati alla salute (inalazione del fumo), inquinamento dell'atmosfera e deforestazione. Durante il processo di combustione oltre a CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e all'energia prodotta, si generano inoltre anche una serie di inquinanti gravi la salute umana e per l'ambiente quali monossido di carbonio (CO), ossidi d'azoto (NO<sub>x</sub>), ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>), composti organici volatili (COV), idrocarburi policiclici aromatici (IPA), particolato (PM).

Tuttavia, per le popolazioni a basso reddito, la biomassa tradizionale risulta l'unica opzione possibile per l'accesso all'energia in quanto è facilmente disponibile, gratuita, semplice e facile da usare. Circa 2.5 miliardi di persone, per lo più nelle aree rurali, impiegano biomassa tradizionale per cucinare, ma il consumo avviene principalmente sotto forma di legna da ardere, con la trasformazione in carbone che rappresenta una parte minore (IEA, 2016). Il World Energy Council ha stimato che la quantità di legno trasformata in carbone

ed utilizzata come combustibile per le attività energetiche relative a scopi alimentari è stata equivalente a 52 milioni di tonnellate nel 2016. Il tasso di crescita positivo registrato nelle popolazioni dei PVS e la dipendenza di questi Paesi da queste fonti energetiche, determina elevate pressioni sulla risorsa legno, portando alla distruzione di foreste e ad un peggioramento delle condizioni di vita della popolazione che per motivi lavorativi dipende dalle foreste. I dati disponibili sul consumo di legno utilizzato a tali scopi sono basati generalmente su stime, in quanto la maggior parte della produzione e dell'utilizzo di tale combustibile si verifica al di fuori dei canali commerciali e pertanto non viene registrata (Burns, 1980; Bailis et al. 2003; Adger, 2003).

Le preoccupazioni della comunità internazionale riguardo l'utilizzo del legno sono rivolte alla sostenibilità ambientale e le iniziative riguardo al controllo nell'utilizzo del legno si focalizzano per lo più su sistemi di certificazione e di sviluppo della filiera (Abdegalil, 2004). Se però tali sistemi trovano il supporto delle istituzioni nei PA, le quali regolano la crescita del mercato tramite misure mirate e sistemi di incentivazione, tale meccanismo non può essere applicato in realtà in cui l'indice di povertà della popolazione è elevato ed il sistema economico presenta arretratezze notevoli. La presente situazione si verifica specialmente nei PVS, dove le istituzioni non possono garantire un controllo regolamentato sui beni naturali in particolare di origine legnosa (Adams, 2001).

La differenziazione delle risorse energetiche effettuata in letteratura (Openshaw et al. 2008) si concentra maggiormente secondo la seguente categorizzazione:

- energia da fonti tradizionali: legna, residui agricoli e rifiuti zootecnici;
- energia da fonti intermedie: carbone e cherosene;
- energia da fonti moderne: LPG, biogas, etanolo, olii vegetali e elettricità.

In molti Paesi l'energia da fonti tradizionali rappresenta il 90% del consumo energetico delle abitazioni domestiche, sia nelle aree urbane che rurali dei PVS, dato che conferma lo scarso

accesso della popolazione alla rete energetica e l'inconsistenza nel rapporto *consumi energetici/totale della popolazione*.

Un altro aspetto che riguarda la domanda di biomassa da fonti tradizionali e intermedie e la sua importanza per le economie rurali è rappresentato dal significativo tasso di occupazione e reddito ad essa correlato. L'elevata domanda è correlata alle condizioni di elevata povertà, basso reddito e mancanza di sviluppo, anche se studi dimostrano (Carrquiry et al. 2008; Smith et al. 2000; Kaltschmitt et al. 2006; Hoogwijk et al. 2005; Junginger et al. 2006) come all'incrementare del reddito si differenzi il mix energetico della popolazione, ma raramente il legno viene del tutto escluso come fonte energetica. In tale scenario infatti la cultura e le tradizioni giocano un ruolo prevalente per ciò che riguarda l'approvvigionamento energetico (Oloo, 2013). Di seguito vengono riportati i risultati della letteratura scientifica effettuata per mezzo del motore di ricerca *Scopus*, con l'obiettivo di evidenziare i risultati nel campo della ricerca riguardo gli effetti dell'utilizzo delle biomasse tradizionali principalmente di origine vegetale sulla salute, l'educazione e l'ambiente, indici di adeguati livelli di benessere e di qualità della vita di una popolazione.

#### *2.4.1 Salute*

Il problema della salute correlato all'utilizzo di biomassa tradizionale come fonte primaria di energia nei PVS è relativo alla trasformazione tramite il processo di combustione per mezzo di stufe tradizionali. Gli impatti sulla salute derivanti dal processo di combustione dipendono da una particolare gamma di parametri qualitativi e quantitativi, come l'esposizione, l'umidità contenuta nella materia prima, il tasso di combustione, la ventilazione dell'ambiente e il tempo di cottura dei differenti alimenti. Secondo i dati

riportati dall'*Organizzazione Mondiale della Sanità* (OMS) i decessi attribuibili all'inquinamento atmosferico per l'utilizzo di materia prima legnosa sono pari a 3,5 milioni di morti prematuri l'anno a causa dell'esposizione diretta, principalmente donne e bambini. Un rilevante studio scientifico presente in letteratura riguardante il problema dell'inquinamento connesso a metodi di produzione energetica è una *review* letteraria pubblicata nella rivista scientifica "*Environmental Technology*" condotta da **Chen B., Hong C. e He X.** nel **1992**. Lo studio confronta le metodologie di fornitura energetica in differenti regioni della Cina, sia in aree urbane che rurali per mettere a sistema le concentrazioni di gas nocivi per la salute umana (SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>) la tipologia di materia prima utilizzata (legno, biogas, carbone, LPG) e le principali malattie causate dall'utilizzo di metodi inefficienti di produzione energetica sia negli adulti che nei bambini (deficit nelle funzioni immunitaria e polmonare, malattie respiratorie, cancro polmonare, difetti alla nascita e fluorosi).

Nel **1997** invece **Schwela D.** con uno studio quantitativo effettuato sulla qualità dell'aria dimostra l'effettivo impatto negativo delle stufe utilizzate dalle popolazioni dei PVS per la cottura di alimenti sulla salute umana. Dal suo studio emerge che negli anni 90 del XX° secolo, circa il 50% delle comunità familiari nel mondo utilizzava le biomasse tradizionali per i processi di generazione energetica principalmente per la cottura di alimenti, mettendo in evidenza come le donne ed i bambini siano le categorie più esposte a tali effetti. Schwela evidenzia la distribuzione geografica dei decessi attribuibili alla sospensione di particelle inquinanti generate dal processo di combustione di biomasse vegetali e carbone sottolineando come nelle zone rurali dell'Africa e dell'India si registrino i maggiori impatti, seguiti da Paesi come America Latina, India e Cina.

Nel **2001 Ezzati M. e Kammen D.** effettuano uno studio nelle aree rurali del Kenya con l'obiettivo di verificare la correlazione tra l'utilizzo di stufe rudimentali per la combustione di biomassa e l'esposizione di individui ai fumi provocati nel periodo temporale dal 1996 al

1999. Il metodo applicato dagli scienziati è stato il seguente: sono state selezionate 55 famiglie in modo casuale nella provincia di Laikipia, nella regione centrale del Kenya, e sono state sottoposte a monitoraggio settimanale per verificare la loro condizione di salute relativa ad infezioni respiratorie correlate all'esposizione di PM inferiore a 10 milligrammi ( $PM_{10}$ ) generato dalla combustione delle biomasse. La ricerca scientifica ha permesso di dimostrare la forte relazione tra il  $PM_{10}$  e le condizioni di salute degli individui coinvolti nell'indagine da sottoporre all'attenzione della comunità internazionale. Il contributo di tale studio è stato quello incentivare l'assistenza alle comunità rurali per la diffusione di tecnologie semplici ma pulite, con lo scopo di prevenire le malattie e le morti premature sulla fasce più deboli della società nelle aree rurali dei PVS.

Una review molto importante relativa allo studio della salute respiratoria correlata all'inquinamento domestico per processi di combustione nei PVS è quella effettuata da **Smith K., Samet J., Romieu I. e Bruce N.** pubblicata nel **2000**. Questo studio è stato condotto analizzando la letteratura scientifica fino ad allora pubblicata per evidenziare la relazione tra le malattie respiratorie nei bambini e l'utilizzo di biomasse tradizionali per scopi energetici nei PVS. Dalla review è emerso l'effettivo rischio supportato da dati quantitativi relativi all'esposizione prolungata di bambini di varie fasce d'età alle emissioni generate dal processo di combustione. Nello studio viene infatti riportato l'indice di mortalità di bambini sotto i 5 anni verificatosi nell'anno 1993 e differenziando le cause in: malattie respiratorie acute (4.1 milioni), morte neonatale (3.1 milioni), infezioni (diarrea e malaria, rispettivamente 3 milioni e 2 milioni). Lo studio analizza il problema dell'inquinamento domestico derivante dall'impiego di biomassa in un arco temporale molto ampio, ovvero dal 1968 al 1990 riportando studi scientifici differenti e relativi a diverse aree geografiche. Nella tabella 2.1 viene riportata una rielaborazione degli studi effettuati nei PVS riguardanti le concentrazioni di PM ed i loro effetti sulla salute umana.

**Tabella 2.1 Rielaborazione della letteratura scientifica riguardante le concentrazioni di PM nei PVS**

<b>Riferimenti</b>	<b>Anno</b>	<b>Luogo</b>	<b>N. osservazioni</b>	<b>Concentrazione PM</b>
Cleary et al.	1968	<i>Papua Nuova Giunea</i>	9	200-4900
Anderson	1974		6	200-9000
Hofmann et al.	1971- 1972	<i>Kenya</i>	5	2700-7900
Clifford	1982		3	300-1500
Boleij et al.	1988		64	1200-1900
Aggarwal et al.	1982	<i>India</i>	22*	15800
Patel et al.			32** 10***	18300 5500
	1988			
Menon			390	4000-21000
Smith et al.	1983		65	6800
Ramakrishna et al.	1987		165	3700
Menon	1988		129	4700
Saksena et al.	1991		95	5700
Davison et al.	1986	<i>Nepal</i>	17*	4700
Reid et al.	1986		49	2000

Pandey et al.	1990		20	6000
Mumford et al.	1987	<i>China</i>	-*	2600

---

\* legno  
\*\* fango  
\*\*\* carbone

Dunque, da tale ricerca emerge come le infezioni respiratorie siano le principali cause di morte nei bambini nei PVS ed i rischi correlati all'utilizzo di biomasse tradizionali per scopi energetici si estendano a tutti i componenti della famiglia esposti al processo di combustione e, quindi, ad elevate concentrazioni giornaliere di inquinanti. Inoltre, il presente studio conferma l'elevato rischio per la salute delle fasce più vulnerabili della popolazione, ovvero donne e bambini.

Lo studio di **Bailis R., Ezzati M. e Kammen D.** condotto nel **2005** invece analizza gli scenari futuri riguardo le emissioni di GHGs e le morti correlate alla trasformazione di biomasse per scopi energetici.

Infatti gli autori specificano come le emissioni nette di GHGs nel 2000 siano state equivalenti a 79 milioni di tonnellate di carbonio (MtC), con il legno responsabile per il 61%, seguito dal carbone con il 35% e da petrolio e LGP rispettivamente al 3% e 1%. Nel 2000 le malattie associate alla combustione delle biomasse hanno determinato 690.000 decessi tra i bambini e 53.000 tra le donne adulte, il 51% delle morti nei bambini (350.000) ed il 63% delle morti nelle donne adulte (34.000) è dipeso direttamente dall'utilizzo di legno e carbone come materie prime energetiche. Senza cambiamenti sistematici gli autori prevedono che nel 2030 l'uso della biomassa nei PVS determinerà circa 8,1 milioni di morti tra i bambini e 1,7 milioni di morti tra le donne adulte. Dallo studio emerge come questi decessi possano ridursi con graduali transazioni a modelli più sostenibili che utilizzino una semplice

tecnologia per la trasformazione energetica, così da poter evitare la morte dell'83-85% di bambini e del 17-15% di donne adulte.

Il confronto tra l'efficienza energetica e le emissioni dannose per la salute vengono analizzate da **Yamamoto S., Sié A. e Sauerborn R.** nel **2009** nel loro studio scientifico condotto nell'area sub-urbana di Nouna, in Burkina Faso. Gli autori hanno esaminato il consumo, l'efficienza energetica, la disponibilità e gli impatti sull'aria di legno, carbone e LPG, con l'obiettivo di dimostrare i vantaggi e gli svantaggi dei tre combustibili combinando la componente energetica ed i rischi per la salute. Infatti viene riportato che il 95% delle famiglie in Burkina Faso utilizza le biomasse come fonte primaria di energia ed i decessi ad esse attribuibili sono pari a 21.500 l'anno mentre i casi di disabilità ad esse associata è pari all'8,5%. Lo studio conferma che le biomasse di origine legnosa, oltre a provocare danni per la salute dovuta all'esposizione, risultano inefficienti. La sostituzione con l'LPG sembrerebbe nel breve periodo la soluzione più vantaggiosa, ma determinerebbe problematiche legate all'inquinamento atmosferico oltre a svantaggi relativi al costo e, dunque, la difficoltà delle popolazioni rurali (reddito medio  $\leq 1\$$  al giorno) all'acquisto.

Parallelamente, **Mangoyana R.** analizza il potenziale delle “*bioenergia*” come soluzione di accesso al mercato energetico per le comunità rurali, con l'obiettivo di aumentare l'efficienza energetica e ridurre i decessi e le disabilità connesse all'utilizzo di biomasse legnose. Nella sua ricerca vengono sottolineati i benefici di modelli che utilizzano rifiuti agricoli, zootecnici, urbani ed umani per la produzione di energia in particolare nella regione dell'Africa sub-sahariana. Al contempo l'autore sottolinea l'importanza del trasferimento tecnologico come variabile specifica per permettere la sostituzione delle biomasse tradizionali con sistemi che processino residui e rifiuti.

Solamente nel **2015 Neupane M., Basnyat B., Fischer R., Froeschl G., Wolbers M. e Rehfuess E.** evidenziano con un metodo statistico quantitativo pesato e multivariato i

miglioramenti nella salute delle donne delle comunità rurali del Nepal attribuibili all'utilizzo di sistemi di biogas come fonte energetica, in sostituzione della materia prima legnosa. Lo studio analizza gli impatti sulla salute di una comunità di donne nepalesi di età  $\geq 30$  anni dal 2012 al 2013, correlando il campione che utilizza il sistema a biogas (219) e quello che utilizza la combustione di materia prima legnosa (300) con la pressione sanguigna, per investigare attraverso una regressione lineare gli effetti all'esposizione dei diversi metodi. I risultati emersi dal gruppo di ricerca evidenziano come il biogas abbia protetto il campione analizzato da problemi cardiovascolari, specialmente nella categoria di donne di età  $> 50$  anni. Inoltre è emerso che il 68% del campione che utilizza il sistema a biogas ha riportato una riduzione nello sviluppo dell'ipertensione. Dunque la letteratura scientifica supporta la conclusione che il problema dell'utilizzo della biomassa di origine vegetale provoca gravi disfunzioni nella salute degli individui maggiormente esposti alle emissioni derivanti il processo di combustione (donne e bambini), nonché causa di ingenti decessi nelle comunità rurali. Una soluzione vantaggiosa per arginare tale problema è la sostituzione delle biomasse di origine vegetale con sistemi tecnologici semplici che permettano alle popolazioni rurali di accedere alla rete elettrica.

Difatti, due studi analizzano il sistema a biogas come soluzione sostenibile per l'accesso all'elettricità. Il primo studio è quello effettuato da **Kuo J. e Dow J. (2017)**, i quali analizzando un impianto di trattamento di acque reflue e di rifiuti alimentari organici in California, dimostrano come sia possibile produrre energia per mezzo del processo di digestione anaerobia proteggendo la salute pubblica. I risultati pubblicati evidenziano come le operazioni di conversione energetica di un sistema integrato di scarti alimentari e acque reflue è facilmente implementabile in un modello di codigestione e presenta un incremento di efficienza del 60% rispetto ai modelli non integrati.

Però, se nei PA la consapevolezza dei benefici derivanti dal sistema di codigestione è facilmente recepita da istituzione ed opinione pubblica per mezzo di sistemi di incentivazione agli investimenti, contrariamente nei PVS risulta necessario lo sviluppo sistematico di incentivazione a differenti livelli istituzionali per coinvolgere le comunità locali nei progetti di riutilizzo dei rifiuti organici e delle acque reflue. **Yousuf A., Khan, M., Pirozzi D. e Wahid A. (2016)** analizzano lo stato dell'arte ed i futuri scenari di crescita del sistema di cogenerazione nei PVS, definendo le principali barriere di mercato che impediscono un efficiente sviluppo della tecnologia a biogas:

1. lo scarso livello di conoscenza e consapevolezza della *potenzialità* dell'utilizzo del biodigestore per le comunità locali;
2. lo scarso livello di conoscenza e consapevolezza dei *rifiuti* prodotti e della loro categorizzazione al fine di introdurli in un sistema circolare per la produzione energetica;
3. lo scarso livello di conoscenza e consapevolezza delle comunità rurali dei benefici alla *salute* derivanti dalla sostituzione della materia prima di origine vegetale per scopi di cucina con il biogas;
4. lo scarso livello di conoscenza e consapevolezza dei *costi* reali di investimento relativi al servizio energetico;
5. la scarsa coordinazione di differenti enti quali governi centrali e locali, organizzazioni non governative, istituti di ricerca e di credito per l'*armonizzazione* di un sistema di incentivazione e sussidi.

Problematiche quali la difficoltà di accesso al mercato energetico, la mancanza dei servizi igienico-sanitari, è la scarsità di servizi idrici potrebbero secondo gli autori, essere in gran

parte risolte dallo sviluppo di un sistema di cogenerazione sul modello di quello studiato da **Kuo J. et al.** in California, integrando le acque reflue e gli scarti agro-alimentari.

Il principale ostacolo per i PVS però è definito dallo scarso livello tecnologico, il quale non permette la definizione sistematica di modelli che richiedono un livello avanzato di competenze. Tali barriere tecnologiche però possono essere abbattute sviluppando sistemi di biodigestione più semplici rispetto a quelli conosciuti nei grandi impianti dei PA, che permetterebbero così demolire le barriere allo sviluppo di sistemi di biodigestione analizzati da **Yousuf et al.**

#### *2.4.2 Educazione*

L'utilizzo di biomasse vegetali nelle popolazioni dei PVS è collegato in modo diretto con variabili economiche, sociali e demografiche che ne determinano la preferenza. Tali variabili riguardano il basso reddito, lo scarso livello di educazione e il forte ruolo delle tradizioni che caratterizzano in modo rilevante la preferenza della materia prima di origine legnosa, in quanto presenta caratteristiche di accessibilità, disponibilità e gratuità. Spesso inoltre la filiera del legno contribuisce, insieme al settore agricolo, all'occupazione di diverse categorie sociali. Nello studio condotto nel **1983** da **Hyman E.**, vengono identificate le caratteristiche principali del mercato delle biomasse legnose nella zona delle Filippine: la frammentazione e la dispersione del mercato e l'occupazione derivante dal commercio delle materie prime vegetali come risorsa energetica. In base a questa ultima variabile, l'autore si sofferma sulla distinzione relativa alle mansioni: se gli uomini adulti sono responsabili dell'approvvigionamento e del trasporto per la vendita sul mercato, donne e bambini sono coinvolti nelle azioni di approvvigionamento giornaliero per le mansioni domestiche. Nel **1990** **Day, D., Chen, T., Anderson, J. e Steinberg, M.** effettuano una ricerca sul benessere

e sulla qualità della vita media delle comunità rurali del Kenya, con l'obiettivo di migliorare le loro condizioni di sviluppo per mezzo dell'utilizzo della tecnologia a biogas. Dallo studio viene confermata l'attitudine di donne e bambini all'approvvigionamento della materia prima combustibile legnosa, comportando una quantità di tempo giornaliero rilevante dedicato a questa specifica attività. Nel **1999 Mekonnen, A.** definisce un metodo per stimare le variabili strumentali della funzione di domanda che caratterizza le biomasse legnose e dallo studio ne deriva che l'elasticità negativa del prezzo della materia prima è correlata alla variabile *tempo*, necessario all'approvvigionamento.

**Achudume A.** in un articolo pubblicato per la rivista "*Environment, Development and Sustainability*" nel **2009** rende oggetto del suo studio il modello dello sviluppo sostenibile nell'integrazione delle quattro dimensioni, con l'obiettivo di dimostrare come il miglioramento della qualità della vita di una comunità rurale di donne in Nigeria passi proprio per l'ammodernamento delle tecnologie relative alla produzione energetica. Lo studio è stato condotto in quattro villaggi nel distretto di Tonkere (Okeake, Abagboro, Elefon and Akiri) con l'obiettivo di dimostrare che il miglioramento delle condizioni di vita della popolazione delle aree rurali si avvale di fattori integrati (tempo, reddito) e per ottenere risultati tangibili bisogna considerare il ruolo delle donne nelle comunità rurali dei PVS. Nella presente ricerca vengono riportate variabili fondamentali per supportare la tesi che il problema delle biomasse come risorsa energetica non soltanto è collegato a disfunzioni dell'apparato respiratorio, ma anche a fattori che per la prima volta vengono menzionati come connessi al problema dell'utilizzo delle biomasse legnose, quali:

- il *tempo* speso dalle donne per l'approvvigionamento della materia prima e per le questioni domestiche (10 ore al giorno);

- le *risorse economiche* destinate all'acquisto di biomassa legnosa (55% dello stipendio medio mensile (Smith et al. 2005).

L'autore dunque pone per la prima volta l'attenzione sull'integrazione del ruolo delle donne nelle economie rurali dei PVS con il fattore *tempo impiegato per l'approvvigionamento* della materia prima combustibile come variabili sociali che contribuiscono allo sviluppo sostenibile.

Più genericamente **Kaygusuz K.** nel **2011** identifica la pratica del rifornimento della materia prima vegetale a scopi energetici come compito essenziale di donne accompagnate da bambini, andando ad analizzare il problema del tempo consumato per l'approvvigionamento dei combustibili tradizionali come principale causa degli scarsi livelli di educazione delle donne e del reddito nullo da questa categoria posseduto. Se il primo fattore (educazione) dipende dall'elevato tasso di abbandono scolastico per dedicarsi alle mansioni per la cura della casa, il secondo (reddito nullo) deriva dall'impossibilità di dedicarsi ad un lavoro retribuito a causa della responsabilità domestica. Tali fattori sono correlati al livello di cultura e cura delle tradizioni e non permettono a questa categoria di uscire dallo stato di povertà. Proprio a dimostrazione di come i fattori socio-economici trainino il processo di sostituzione della materia prima vegetale con sistemi semplici di biogas, lo studio condotto da **Kabir H., Yegbemey R. e Bauer S.** nel **2013** in Bangladesh analizza quali siano i fattori determinanti che permettono l'adozione di sistemi a biogas. Gli autori per mezzo di un modello di regressione logistica hanno dimostrato come variabili quali educazione, numero di rifiuti prodotti, reddito familiare, persone componenti un nucleo familiare e età media della famiglia siano positivamente correlate all'adozioni di sistemi a biogas, mentre il genere gioca un ruolo negativo. Difatti, se il campione femminile risulta più propenso all'utilizzo di sistemi a biogas, quello maschile risulta più diffidente all'innovazione. Gli autori attribuiscono questa differenziazione alle maggiori competenze del campione femminile

riguardo l'amministrazione domestica e, dunque, una analisi specifica sugli effettivi benefici anche in termini di salute e tempo risparmiato per l'approvvigionamento. Dalla ricerca scientifica emerge che l'educazione assume un ruolo rilevante poiché maggiore è il livello di educazione del nucleo familiare, maggiore sarà la propensione ad adottare il sistema a biogas: i risultati dimostrano che per ogni anno in più di educazione, la propensione all'utilizzo registra un incremento pari al 18.6%. Se però nel presente studio emerge la non significatività della variabile "età" nella scelta del sistema di generazione energetica, gli studi di **Walekhwa P., Mugisha J. e Drake L.** condotti in Uganda nel **2009** e quelli di **Somda J., Nianogo J., Nassa S. e Sanou S.** condotti in Burkina Faso nel **2012** dimostrano invece come tale fattore sia negativamente correlato all'utilizzo di sistemi differenti da quelli tradizionali, avvalorando la tesi che nel continente africano le persone più anziane siano avverse al rischio del cambiamento e risultino maggiormente contrarie alle innovazioni, prediligendo le biomasse tradizionali per scopi energetici.

Similmente, anche gli studi condotti da **Baiyegunhi L. e Hassan B.** in Nigeria e pubblicati nel 2014 dimostrano che la relazione tra l'età del capofamiglia e la probabilità di cambiare la fonte energetica tradizionale (legno e carbone) presenta una correlazione negativa, confermando che l'effetto marginale tra le due variabili è inversamente proporzionale. Il campione esaminato dagli autori è composto proprio da 120 capofamiglia di genere femminile, che presentano un'età media di 46 anni e un'educazione media pari a 5.2 anni scolastici, inferiore al grado di educazione primaria nel sistema nigeriano (7 anni). La composizione media del nucleo familiare è pari a 5.9 individui e la maggior parte delle intervistate (85%) sono occupate nel settore agricolo o in attività commerciali oppure si occupano dell'amministrazione domestica (5%), con un reddito medio giornaliero pari a circa 2\$. Il modello logit multinomiale sviluppato dagli autori ha come obiettivo quello di classificare le materie prime energetiche secondo le preferenze del campione tra legno,

kerosene, gas naturale ed elettricità. Il legno risulta la materia prima per eccellenza, con un punteggio pari al 73%, seguito da kerosene, gas naturale ed elettricità rispettivamente al 19%, 3% e 5%. Dall'analisi descrittiva inoltre emerge che anche se il reddito medio per famiglia subisse un incremento, il campione non presenta mai la volontà di sostituire completamente la materia prima legnosa in favore di un altro combustibile (nello studio sono sottoposte come scelte sostitutive kerosene, gas naturale e elettricità), preferendo invece l'utilizzo congiunto di almeno due forme di materie prime energetiche (la prima risulta sempre il legno).

Secondo **Bisu D., Kuhe A., Iortyer H (2016)** i fattori che determinano la scelta di combustibili di origine vegetale nell'area di Bauchi in Nigeria, sono prettamente socio-economici. Utilizzando un metodo statistico di randomizzazione a due fasi per mezzo di dati raccolti con un questionario semi-strutturato sottoposto alla popolazione dell'area rurale studiata le variabili correlate alla scelta di combustibili vegetali per scopi energetici sono lo scarso reddito annuale posseduto dalle famiglie ed i bassi livelli di educazione, con un elevato tasso di abbandono scolastico nella fase pre-adolescenziale. Le caratteristiche che determinano la scelta di combustibili legnosi sono la facilità di accesso e la gratuità della materia prima, confermano ciò che è emerso dallo studio di **Kaygusuz K. (2011)** rispetto all'accesso delle materie prime energetiche nei PVS. Uno studio a supporto dell'implementazione di sistemi a biogas con tecnologia semplice è quello pubblicato da **Kabera T., Nishimwe H., Imanantirenganya I. e Mbonyi K. nel 2016**, i quali analizzano l'impatto e l'efficacia del programma di supporto del biogas implementato dal governo del Ruanda. Infatti, con lo scopo di promuovere l'utilizzo di residui agro-zootecnici, il governo centrale del Ruanda ha attuato una serie di misure nel distretto di Kirehe e Kamonyi al fine di armonizzare le azioni di differenti attori (governo, aziende private e popolazione rurale)

per l'adozione di un sistema di generazione energetica basato sugli scarti prodotti dalle famiglie delle aree rurali.

**Tabella 2.2 Variabili critiche positivamente correlate con l'adozione di sistemi a biogas presenti nella letteratura scientifica e riferiti a PVS dimostrati con modelli statistici**

<b>Riferimenti</b>	<b>Anno</b>	<b>Luogo</b>	<b>Modello statistico utilizzato</b>	<b>Variabili</b>	<b>Fonte energetica analizzata</b>
Kabir et al.	2013	<i>Bangladesh</i>	Regressione logit multinomiale qualitative (300 osservazioni)	Genere* Educazione* Reddito* N° membri	Biogas
Baiyeguni et al.	2014	<i>Nigeria</i>	Regressione logit multinomiale quantitative (120 osservazioni)	Età* Genere Educazione* Reddito N° membri Prezzo <i>MPE</i> Distanza <i>MPE</i> * Ruolo tradizioni <i>MPE</i> *	Biomasse, kerosene, gas naturale, rete elettrica
Bisu et al.	2016	<i>Nigeria</i>	Regressione lineare multivariate (100 osservazioni)	Genere Reddito* Educazione* N° membri Accessibilità <i>MPE</i> Disponibilità <i>MPE</i>	Biomasse, kerosene, gas naturale
Haftu et al.	2017	<i>Etiopia</i>	Regressione logit multinomiale quantitative (190 osservazioni)	Età Genere Reddito* Educazione* N° membri Distanza <i>MPE</i> * Accesso a sistemi di credito*	Biomasse

\* variabili correlate per la sostituzione e/o l'adozione di sistemi a biogas  
MPE: materie prime energetiche

Oltre a migliorare le condizioni energetiche della popolazione coinvolta nello studio, l'obiettivo principale è quello di educare le donne al funzionamento del biodigestore e renderle le principali responsabili dell'utilizzo. Il sistema di generazione flessibile riportato nello studio è molto semplice, ha un costo approssimativo di US\$ 186 e una grandezza variabile in base all'ammontare di residui organici prodotti. A causa del costo che può costituire una barriera consistente per la popolazione con un reddito medio giornaliero pari a US\$2, gli autori propongono un sistema di credito che possa facilitare l'acquisto da parte delle famiglie delle aree rurali.

Dallo studio emerge come le donne delle comunità analizzate, sebbene siano direttamente responsabile dell'approvvigionamento energetico (55%), esse non abbiano un ruolo determinante riguardo la decisione di acquisto dell'impianto a biogas (18.6%) anche se a loro è affidato il compito della manutenzione e del funzionamento per mezzo di corsi di formazione. Nelle aree rurali sono 36 gli impianti flessibili installati e funzionanti, utilizzati per scopi domestici (cucinare, scaldare l'acqua) e per l'illuminazione. Gli autori enfatizzano i benefici di questo modello sia in termini economici, associati all'acquisto di materie prime energetiche, sia in termini di qualità dell'aria negli ambienti domestici (per donne e bambini).

Anche **Haftu E., Kiros M., Gebresilasse H. e Kidane H.** nel 2017 utilizzando un modello di regressione logistica di dati incrociati, hanno definito le variabili socio-demografiche come essenziali e correlate alle scelte per l'adozione di un sistema a biogas nella regione di Tigray, in Etiopia. Sulla base dei risultati ottenuti da **Kabir et al.** e **da Bisu et al.**, gli autori dimostrano come l'accesso al credito e la distanza dai siti di approvvigionamento della materia prima legnosa siano determinanti per la diffusione della tecnologia a biogas. Dunque ai fini dell'adozione di sistemi a biogas, le variabili più significative emerse in letteratura

solo *sociali, demografiche ed economiche* e la *spazialità* intesa come vicinanza alle riserve energetiche per l'approvvigionamento è considerata un fattore critico.

Nella Tabella 2.2 viene riportato il confronto in letteratura delle variabili critiche che vengono presentate dagli autori in funzione dei vari modelli statistici a sostegno della loro tesi, differenziate per fonte energetica.

### *2.4.3 Ambiente*

Il problema connesso all'utilizzo di biomasse di origine vegetale a scopi energetici è correlato in modo diretto con varie problematiche ambientali, che riguardano l'impatto delle attività di raccolta e trasformazione sulla qualità delle risorse naturali, dell'aria e sulla biodiversità. Dal **1980** la letteratura scientifica ha iniziato ad approfondire la relazione diretta tra l'impatto ambientale e l'utilizzo di biomasse vegetali (principalmente di legno) a scopi energetici nelle comunità rurali che non hanno accesso ad un efficace mercato energetico. Autori come **Burns L., Hammer, T., Preto G. e Whitney et al.** hanno per primi affrontato studi di tipo qualitativo al fine di sottolineare le implicazioni dell'utilizzo di biomasse tradizionali nelle popolazioni rurali sulle foreste, facendo emergere già negli anni '80 del XX secolo la necessità di attuare strategie di gestione delle foreste inclusive delle popolazioni rurali, per poter limitare i danni ambientali futuri, considerando le previsioni di crescita di queste popolazioni e l'effettivo stato di povertà in cui esse si trovavano. Così temi quali la deforestazione e l'impoverimento del suolo sono stati documentati in Tanzania, in India e nell'area del Sahel. Uno studio quantitativo è stato effettuato da **Osemeobo G.** nel **1992**, per investigare sulle implicazioni ecologiche correlate all'utilizzo di legno prelevato dall'ecosistema. Lo studio è stato condotto in Nigeria su un campione di 200 individui occupati nel settore dell'approvvigionamento per fini commerciali della risorsa legnosa. I

dati erano riferiti alle specie di alberi utilizzati a scopi di combustione nell'area della foresta pluviale della zona e in quella della savana, al fine di valutare la produzione delle biomasse e l'impatto sul suolo e sulle altre risorse naturali (aria, acqua). I risultati hanno evidenziato come l'utilizzo del legno è strettamente correlato ad un impatto negativo sulle risorse ambientali, provocando sia elevati tassi di disboscamento causati dalle attività commerciali tra le comunità limitrofe alle riserve e le comunità nelle aree marginali (le quali domandano la materia prima), sia un impoverimento del suolo generato dall'attività di approvvigionamento della materia prima. Nel **1994 Kandpal J., Maheshwari R. e Kandpal T.** effettuano una valutazione delle emissioni rilasciate negli ambienti domestici durante il processo di combustione nelle aree rurali in India per mezzo di stufe utilizzate, analizzando tre tipologie di biomasse: il legno, i residui agricoli ed i rifiuti zootecnici. I risultati emersi dallo studio evidenziano per ogni tipologia di biomassa analizzata il corrispettivo rilascio nell'atmosfera di NO<sub>2</sub> e di CO superiore ai limiti standard fissati, rispettivamente pari a 60 µg/m<sup>3</sup> e 10 mg/m<sup>3</sup>, mentre per i quantitativi di formaldeide (HCHO) non sono previste limitazioni prefissate. Il legno registra livelli più alti di entrambi i gas (in media 180 µg/m<sup>3</sup> di NO<sub>2</sub> e 163 µg/m<sup>3</sup> di HCHO), seguito dai residui agricoli (in media 176 µg/m<sup>3</sup> di NO<sub>2</sub> e 147 µg/m<sup>3</sup> di HCHO) ed infine i rifiuti zootecnici (in media 160 µg/m<sup>3</sup> di NO<sub>2</sub> e 118 µg/m<sup>3</sup> di HCHO). Rispetto invece alle emissioni di CO mg/m<sup>3</sup> negli ambienti domestici, i rifiuti zootecnici rappresentano la biomassa maggiormente inquinante, con valori che si attestano intorno a 40 mg/m<sup>3</sup>, seguita dai residui agricoli a 35 mg/m<sup>3</sup> ed infine il legno con 32 mg/m<sup>3</sup>. Riguardo alla concentrazione di PM<sub>10</sub> correlata all'utilizzo di biomasse, lo studio di **Albalak R., Keeler G., Frisancho R. e Haber M. (1999)** condotto su un campione di 621 famiglie nelle comunità indigene di Cantuyo e Taipillanga in Bolivia, dimostra come il processo di combustione della biomassa di origine vegetale determini quantità di PM<sub>10</sub> pari a 1830 µg/m<sup>3</sup> e 280 µg/m<sup>3</sup> rispettivamente.

A conferma della popolarità della biomassa di origine legnosa come primaria fonte energetica nelle aree rurali, **Marfu L., Ludwig J., Andreae, M., Meixner, F. ed Helas, G. (1997)** analizzano per mezzo di un questionario condotto in Zimbabwe le preferenze della popolazione relative alle risorse energetiche. I risultati confermano che nelle aree rurali si consumano circa 3.2 kg pro-capite al giorno di legno, circa 1.5 kg pro-capite al giorno di residui agricoli e circa 0.2 kg pro-capite di rifiuti zootecnici. Uno studio simile condotto nel **2001** in Kenya da **Kituyi, E., Marufu, L., Huber, B., Andreae, M., ed Helas, G.** riporta invece il consumo pro-capite di biomassa vegetale consumata nelle aree rurali ed urbane. Dallo studio emerge come il legno resti la scelta principale per la popolazione, registrando un consumo pro-capite compreso tra 0.8-2.7 kg/giorno, mentre il carbone (utilizzato maggiormente nelle aree urbane) registra un consumo pro-capite pari a 0.18-0.69 kg/giorno. Nel **2003 Bailis R., Ezzati M. e Kammen D.** analizzano le emissioni di GHGs (CO e PM<sub>10</sub>) di stufe inefficienti alimentate a biomassa vegetale (un mix di legno, carbone, residui agricoli e zootecnici) attraverso un campione rappresentato da 19 famiglie residenti nelle zone rurali del Kenya sottoposte al monitoraggio diretto della durata di 29 giorni. I risultati evidenziano emissioni di: CO pari a 480 grammi di C/giorno (gC/g); CO<sub>2</sub> pari a 5450 gC/g; CH<sub>4</sub> pari a 30 gC/g; idrocarburi non metanici pari a 20 gC/g. Gli autori affermano che il totale di GHGs rilasciati nell'ambiente durante il processo di combustione equivale ad una quantità pari a 5998 gC/g e l'indice potenziale di surriscaldamento globale (global warming potential) è pari a 9850gC/g. Dunque l'utilizzo delle biomasse vegetali rispetto agli impatti sull'ambiente (maggiormente sull'atmosfera) viene definito "*critico*", a causa anche degli effetti diretti della totale assenza di politiche responsabili di gestione forestale, che contribuiscono alla crescita della percentuale di deforestazione. Per completare i risultati ottenuti da **Bailis et al.**, nel **2005 Sinha S., Kulkarni P., Shah S., Desai N., Patel G., Mansuri M. e Saiyed H.** analizzano le quantità di altri due gas nocivi per l'ambiente e per

la salute umana, il benzene ed il toluene, su un campione di 55 famiglie che utilizzano un mix di biomassa legnosa (75%) e rifiuti zootecnici (25%). Dalle analisi emerge che le quantità di benzene e toluene media stimata è pari rispettivamente a 114.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e 8.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Per mezzo di una metodologia più recente e completa è possibile analizzare gli impatti ambientali di differenti combustibili e tecnologie. Tale strumento è il Life Cycle Assessment (LCA), utilizzato per definire attraverso numerosi indicatori, le esternalità ambientali prodotte da fasi della produzione o processi di trasformazione. **Afrane G. e Ntiamoah A. (2011)** effettuano uno studio comparativo tra tre differenti categorie di combustibili, al fine di determinare l'effettivo impatto ambientale del processo di conversione energetica. Le tecniche analizzate sono l'utilizzo del carbone, il sistema a biogas e l'utilizzo del LPG. Lo studio viene condotto in Ghana e determina il totale delle emissioni derivanti dal processo di conversione secondo i seguenti indici: GWP (kg CO<sub>2</sub> equiv); potenziale di tossicità per l'uomo (human toxicity potential, HTP kg DCB equiv); potenziale di eutrofizzazione (EP, kg PO<sub>4</sub>equiv); potenziale di tossicità delle acque (FAETP, kg DCB equiv); potenziale di acidificazione (AP, kg SO<sub>2</sub> equiv); potenziale di impatto sull'ozono (POCP, kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> equiv); potenziale di ecotossicità terrestre (TETP, kg DCB equiv). Quello che è emerso dalla ricerca è che l'LPG presenta un impatto molto basso per FAETP (0.05), GWP (0.12) e POCP (2.83) e risultati molto alti per HTP (37); il carbone invece registra indici molto elevati per EP (3.02) e GWP (1.45); il biogas infine presenta i risultati più bassi per EP (1.19), GWP (0.16), HTP (1.68) e risultati elevati per TETP (3.44), POCP (3.22) e FAETP (3.02). Comunque gli autori sottolineano come la tecnologia a biogas sia preferibile rispetto a LPG e carbone per il ridotto impatto ambientale medio riportato dalle analisi e affermano che ulteriori risultati dovrebbero essere studiati in futuro considerando l'intero ciclo dell'LCA dei tre combustibili, includendo le fasi di estrazione, trasformazione e trasporto nell'analisi al fine di avere gli indici associati a carbone e LPG più reali ed inclusivi dell'intero processo di

approvvigionamento delle materie prime. Nel **2012** gli autori conducono una ulteriore analisi andando a confrontare tramite il medesimo modello dell'LCA i quantitativi di emissioni di gas climalteranti rilasciati nell'atmosfera ed il loro impatto sull'ambiente secondo una serie di indicatore al fine di confrontare i costi ambientali ed economici di differenti fonti di energia. Nella ricerca gli autori analizzano le materie prime di origine vegetale e di origine mineraria con l'obiettivo di definire il costo ambientale in US\$ di legno e carbone (rispettivamente pari a US\$36,497 e US\$3120 per famiglia) e delle altre materie prime energetiche, analizzando le metodologie per la generazione. Di seguito vengono riportate le materie prime energetiche analizzate e le riguardanti ipotesi:

- legno: il suo utilizzo viene fatto derivare esclusivamente da foreste gestite e la raccolta indiscriminata non viene considerata per la definizione del sistema, così da evitare il calcolo del danno ambientale a monte della metodologia LCA.
- elettricità: per eliminare gli errori di calcolo per l'estrazione e la trasformazione di materie prime di origine fossile ed il relativo impatto ambientale viene considerata solamente l'energia elettrica generata dal settore idroelettrico
- kerosene: per questa materia prima, i dati relativi alle fasi *upstream* e *downstream* sono stati presi dal database *Ecoinvent*.
- carbone, LPG e biogas: per queste variabili non sono state considerate ipotesi specifiche per il sistema.

Gli autori dunque approfondiscono le analisi che avevano condotto nel precedente studio (2011), andando a confrontare gli indici ambientali derivanti dalle sei variabili di combustibile utilizzato e il costo totale del metodo utilizzato considerando un periodo stimato di 10 anni (Tabella 2.3).

**Tabella 2.3 Confronto della caratterizzazione delle emissioni derivanti dal processo di conversione (%), del costo secondo il metodo del Life Cycle Cost (LCC) e il costo della materia prima (MP).**

	<b>Legno</b>	<b>Carbone</b>	<b>Kerosene</b>	<b>LPG</b>	<b>Elettricità</b>	<b>Biogas</b>
<b>AP*</b>	17.92	32.19	37.86	4.30	2.81	<b>4.91</b>
<b>EP*</b>	0.00	0.00	17.70	82.29	0.00	<b>0.00</b>
<b>GWP*</b>	34.48	48.50	7.42	4.00	0.15	<b>5.45</b>
<b>HTP*</b>	0.05	0.00	28.80	71.14	0.00	<b>0.00</b>
<b>FAETP*</b>	0.18	1.38	36.86	60.69	0.88	<b>0.00</b>
<b>POPC*</b>	20.02	72.89	2.93	3.96	0.01	<b>0.20</b>
<b>TETP*</b>	0.00	0.00	31.92	68.07	0.00	<b>0.00</b>
<b>LCC (US\$)</b>	526.75	669.35	1200.08	862.36	758.86	<b>588.16</b>
<b>Costo MP (US\$/kWh)**</b>	1.2	1.9	6.6	5.5	7.3	-

*\*contributo % secondo la caratterizzazione basata sul database CML 2001 del metodo per la valutazione dell'impatto ambientale.*

*\*\* Ahiataku-Togobo W. 2006*

Dunque dalla tabella si evince il vantaggio nell'utilizzo di biogas ed elettricità come fonte energetica primaria per impatto ambientale inferiore. Ovviamente il basso impatto registrato per l'elettricità è essenzialmente dovuto all'ipotesi restrittiva (energia idroelettrica) che gli autori hanno determinato all'inizio dell'indagine. In ogni modo dallo studio emerge come LPG e kerosene registrino i maggiori impatti secondo gli indici calcolati dagli autori, seguiti da carbone, legno biogas ed elettricità. Inoltre, secondo il calcolo dell'impatto sull'uomo

relativo alla tossicità delle materie prime durante il processo di conversione energetica, il processo di cottura per mezzo di biomasse vegetali registra i valori più elevati per legno ed il carbone, rispettivamente con il 78% e 20%.

Una valutazione tecnica, economica ed ambientale per rafforzare la tecnologia a biogas come sistema integrato di sviluppo per le comunità delle aree rurali è quella effettuata da **Pérez I., Garfi M., Cadena E. e Ferrer I.** nel 2013. Lo studio confronta due differenti sistemi di biogas a bassa richiesta tecnologica, quello flessibile e quello fisso. La tecnologia flessibile permette un più facile utilizzo, poiché costituito da materiali leggeri (polietilene o PVC) nei quali viene raccolta la biomassa per il processo di biodigestione e per la produzione di biogas. Quest'ultimo infatti viene trasportato per mezzo di un sistema di tubature che lo rende direttamente utilizzabile per la combustione. Contrariamente il biodigestore di tipo fisso è formato da una struttura cilindrica generalmente in cemento, dove vengono convogliate le acque reflue o le biomasse da trasformare in biogas. Questa struttura è completamente interrata, al fine di rendere più igienico e funzionale il sistema di stoccaggio dei reflui umani e zootecnici. Se nel biodigestore flessibile la composizione della materia prima può essere più eterogenea, formata anche da residui agricoli e alimentari, nel sistema fisso la materia prima è essenzialmente composta da reflui zootecnici ed umani. Gli autori evidenziano come nel sistema flessibile il costo del capitale nel lungo periodo (20 anni) sia inferiore del 12% rispetto al sistema fisso e come l'investimento iniziale rappresenti circa 1/3 delle spese per la costruzione del modello fisso, sebbene ogni 5 anni sia necessaria una manutenzione per i materiali plastici che formano l'impianto. Per quanto riguarda l'impatto ambientale, gli autori circoscrivono l'analisi alla fase di costruzione dei due impianti e dai risultati emerge come il sistema fisso sia meno impattante rispetto al modello flessibile a causa dei materiali plastici utilizzati, mentre secondo l'analisi economica, i costi iniziali di investimento della tecnologia flessibile sono più ridotti (una differenza del 12%) rispetto alla

tecnologia fissa, determinando quindi una maggiore accessibilità alla tecnologia flessibile per le singole famiglie delle aree rurali.

## CAPITOLO 3

### STRUMENTI DI ANALISI

#### 3.1 Il Modello DPSIR e gli indicatori ambientali

Con l'acronimo DPSIR si intende il modello *Determinanti, Pressioni, Stato, Impatto, Risposte* che identifica la comprensione della relazione causa-effetto relativa alle problematiche ambientali. Il modello presentato nel 1999 è l'evoluzione di un sistema più semplice, conosciuto come *Pressione, Stato, Risposta* ed adottato nel 1989 con lo scopo di standardizzare la ricerca e la formulazione di soluzioni per problemi correlati a tematiche ambientali, permettendo di regolare molteplici indicatori ambientali con altre tipologie di indicatori, per esempio sociali o economici. Il modello DPSIR consente di descrivere le problematiche ambientali presenti in uno specifico territorio misurando le alterazioni per mezzo di indicatori specifici e suggerisce le azioni specifiche per migliorare la qualità dell'ambiente e rafforzare il ruolo delle istituzioni, al fine di formulare specifiche politiche che garantiscano il miglioramento delle condizioni dell'ambiente naturale. Questo strumento dunque evidenzia le attività antropiche e le pressioni originate da cause naturali (ad esempio frane, alluvioni, terremoti) che esercitano un impatto negativo sulle risorse naturali, andando a determinare la capacità di carico del sistema analizzato e mettendo in relazione le risorse ambientali e l'insieme delle pressioni (di origine naturale o antropica) esercitate su di esse al fine di individuare le azioni che determinano perturbazioni positive o negative allo stato dell'ambiente. Le perturbazioni cosiddette positive riguardano azioni di prevenzione e recupero mentre quelle negative determinano l'inquinamento e il degrado ambientale.

Dunque, il modello DPSIR è un approccio sistemico a supporto delle politiche per lo sviluppo sostenibile, il quale fornisce un quadro logico per l'approfondimento e l'analisi dei problemi principali che ne impediscono l'implementazione nelle sue quattro dimensioni. Questo sistema perciò si serve di indicatori ambientali che definiscano il livello di qualità della vita ed il benessere della popolazione residente in un determinato territorio (Stanners et al., 2007; EEA, 2010).

**Tabella 3.1 Il modello DPSIR**

<b>MODELLO DPSIR</b>	
<i>Determinanti</i>	Cause generatrici primarie correlate ad esempio ai settori economici o ad attività umane
<i>Pressioni</i>	Variabili che causano direttamente i problemi ambientali come ad esempio emissioni in acqua e in atmosfera, produzione di rifiuti o contaminanti, alienazioni del suolo, approvvigionamento di materia prima, emungimenti e derivazioni, interazione con la vegetazione
<i>Stato</i>	Effetti dei cambiamenti di qualità fisiche, chimiche, biologiche, ecologiche delle risorse ambientali
<i>Impatto</i>	Effetti sulla struttura e sulle funzioni degli ecosistemi, sulla salute umana
<i>Risposte</i>	Politiche ambientali e settoriali, prescrizioni normative, azioni di bonifica e ripopolamenti.

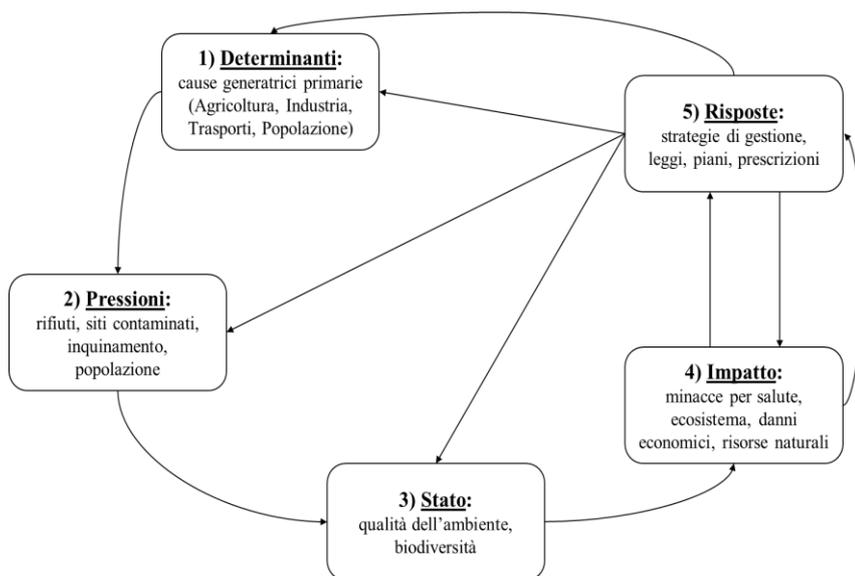
Gli indicatori ambientali di cui si serve questo sistema permettono di monitorare variabili qualitative e quantitative al fine di studiare le condizioni ambientali e le ripercussioni sulle variabili economiche e sociali di un sistema:

- **Determinanti:** rappresentano le cause generatrici primarie correlate ai problemi ambientali generati dalle attività economiche e sociali che influenzano una gamma di variabili ambientali ad esse correlate.
- **Indicatori di pressione:** descrivono le variabili che causano direttamente i problemi ambientali. Vengono definiti anche come indicatori di stress di origine antropica o naturale ed individuano le azioni che producono un cambiamento ambientale esercitato dalle attività umane sull'ambiente e sulla qualità e quantità delle risorse naturali. Gli indicatori di pressione sono molto efficaci per ciò che riguarda le politiche ambientali poiché non svolgono solo una funzione puramente descrittiva, ma provvedono ad individuare dei diretti risultati sul raggiungimento degli obiettivi stabiliti dalle politiche messe in atto. Il loro impiego avviene in analisi prospettiche, per valutare l'impatto ambientale di diversi scenari socio-economici o di proposte di politica ambientale. Questi indicatori includono: il deperimento di risorse naturali attraverso un sfruttamento eccessivo; il rilascio di inquinanti e di rifiuti nell'ambiente; la presenza di grandi infrastrutture o la trasformazione di ecosistemi naturali.
- **Indicatori di stato:** mostrano le condizioni attuali dell'ambiente e misurano il cambiamento del suo stato secondo parametri chimici, fisici, biologici, ecologici. Inoltre questi hanno il compito di descrivere le trasformazioni qualitative e quantitative indotte nelle componenti ambientali dai fattori di pressione. Questi indicatori includono: misurazioni della qualità dell'aria in ambiente urbano, il livello di concentrazione di ozono nella troposfera, dello stock di risorse naturali.
- **Indicatori di impatto:** descrivono gli effetti prodotti dai cambiamenti nell'ambiente e riguardano ad esempio l'impatto sulla salute, sugli ecosistemi, sull'economia. Questi indicatori includono: la contaminazione del suolo da

percolati, l'aumento dell'effetto serra per l'emissione di gas da discariche e impianti di recupero.

- **Indicatori di risposta:** esprimono gli sforzi con cui la società o le istituzioni rispondono ai problemi ambientali nei diversi livelli territoriali. Sono particolarmente adatti a misurare i progressi raggiunti verso il rispetto di normative ambientali, ad esempio, ma non informano su ciò che sta accadendo all'ambiente. La costruzione di questo tipo di indicatore è complessa, poiché i dati disponibili alla costruzione di indicatori di risposta sono ancora piuttosto limitati. È comunque evidente la fondamentale importanza ricoperta dalla definizione e l'elaborazione di indicatori di risposta allo scopo di poter valutare efficienza ed efficacia delle politiche ambientali, facendo riferimento ad azioni individuali o collettive per limitare, adattare o prevenire gli impatti negativi sull'ambiente causati dall'azione antropica; interrompere o riparare i danni inflitti all'ambiente; difendere e conservare la natura e le risorse.

Riassumendo, gli sviluppi economici e sociali (**D**) comportano delle situazioni che generano pressioni (**P**) sull'ambiente. I cambiamenti registrati nello stato dell'ambiente (**S**), comportano impatti (**I**) sulla salute umana, sull'ecosistema e sull'economia. Le risposte della politica e della società (**R**) rappresentano le misure per fronteggiare tali squilibri creati (Figura 3.1). Con l'obiettivo di misurare in modo qualitativo e quantitativo gli effetti dei cambiamenti che si verificano nella società, l'Agenzia Europea per l'Ambiente ha elaborato una serie di indici per facilitare l'armonizzazione e la comprensione dei problemi ambientali. Attualmente gli indicatori ufficiali sono 137, raggruppati in 13 categorie ambientali (Tabella 3.2) e contribuiscono a supportare le politiche ambientali con il riferimento a misure statistiche formalmente riconosciute da organizzazioni governative, europee ed internazionali.



**Figura 3.1** *Rappresentazione grafica del modello DPSIR*

**Tabella 3.2** *Indicatori ufficiali sviluppati e categorizzati dall'Agencia Europea per l'Ambiente*

<b>Area di interesse</b>	<b>Numero di indicatori</b>
<b>Inquinamento atmosferico</b>	<b>11</b>
<b>Biodiversità</b>	<b>27</b>
<b>Cambiamento climatico</b>	<b>46</b>
<b>Energia</b>	<b>11</b>
<b>Trasporti</b>	<b>20</b>
<b>Acqua</b>	<b>11</b>
<b>Pesca</b>	<b>3</b>
<b>Terra</b>	<b>1</b>
<b>Suolo</b>	<b>1</b>
<b>Green economy</b>	<b>1</b>
<b>Consumi delle famiglie</b>	<b>1</b>
<b>Rifiuti</b>	<b>2</b>
<b>Scenari ambientali</b>	<b>2</b>
<b>Totale</b>	<b>137</b>

Gli indicatori che appartengono alla categoria dell'**inquinamento atmosferico** sono stati sviluppati per fornire informazioni sulla qualità dell'aria, con l'obiettivo di monitorare le emissioni di alcuni gas climalteranti, come regolato dalla Direttiva Europea 2001/81/CE e dall'agenzia internazionale delle Nazioni Unite Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Questi indicatori forniscono informazioni sulle emissioni prodotte da ogni Paese in specifici settori industriali per calcolare gli impatti di tali gas sulla salute umana e sull'ecosistema. Alcuni indicatori appartenenti a questa categoria sono: *emissioni di PM; esposizione dell'ecosistema a fenomeni di acidificazione, eutrofizzazione e ozono; emissioni di SO<sub>2</sub>; emissioni di NO<sub>x</sub>.*

Lo sviluppo degli indicatori di **biodiversità** è iniziato nel 2005, con l'obiettivo di definire degli indici condivisi sul piano europeo ed internazionale per monitorare la salute dell'ecosistema e misurare gli eventuali progressi raggiunti per monitorare la perdita della biodiversità. Il set di indicatori è stato pubblicato nel 2007 e approvato dalla Comunità Europea per valutare i progressi e le eventuali politiche da implementare nella lotta contro la perdita della biodiversità. Nel 2010 il target non è stato raggiunto, ma con la definizione del nuovo piano strategico nel 2011 chiamato "*Our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy to 2020*" l'impegno della comunità europea è più stringente, e definisce un percorso di lungo periodo, fino al 2050, con la possibilità di integrare nuovi indicatori per il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Gli indicatori di biodiversità sono complessi e vengono distinti in sei categorie: stato e previsione della diversità biologica (10 indicatori); debolezze della biodiversità (4 indicatori); uso sostenibile delle risorse (7 indicatori); accessibilità e benefici di condivisione (1 indicatore), trasferimenti di risorse (1 indicatore); consapevolezza pubblica delle strategie (1 indicatore).

Gli indicatori del **cambiamento climatico** sono 46 e il loro sviluppo è stato determinato dalla volontà politica di definire strumenti per la valutazione dell'effettività delle misure intraprese riguardo la lotta al cambiamento climatico. Infatti questi indicatori sono stati sviluppati per fornire informazioni riguardo al rilascio dei gas serra nell'ambiente e per armonizzare le politiche europee e quelle dell'UNFCCC relative ai singoli Paesi e settori industriali. Generalmente i report sono utili per confrontare le pubblicazioni del passato con l'attuale livello di inquinamento e determinare quali classi della società siano più vulnerabili al rischio del cambiamento climatico. Tra i più rilevanti abbiamo: il trend di emissioni di GHGs; la temperatura europea e mondiale; la media delle precipitazioni; indicatori sullo stato dei ghiacci; indicatori riguardanti temperatura e livello dei mari; la distribuzione di specie marine animali e vegetali; erosione di suolo; acidificazione degli oceani; indicatori sullo stato delle foreste. Gli indicatori **energetici** sono 11 e forniscono informazioni sulle variazioni di domanda energetica integrando tale variabile con gli impatti provocati dal settore energetico sull'ambiente naturale. Gli indicatori vengono selezionati in funzione di specifiche richieste della politica e permettono di informare sulla fornitura di energia, sull'accesso alla rete elettrica e sullo sviluppo delle FER. Gli indicatori più importanti sono il consumo energetico per settore; l'intensità totale di energia primaria; la produzione e il consumo di energia rinnovabile. Per ciò che concerne i **trasporti**, la necessità di definire specifici indicatori è emersa dal bisogno di definire i più importanti effetti del settore dei trasporti sull'ambiente, per valutare le strategie necessarie relative al medio-lungo periodo. Gli indicatori sono stati pubblicati nel 2000 e ricoprono ampie aree tematiche, quali il consumo energetico, le emissioni, il costo in funzione di ricerca e sviluppo. Gli indicatori per i trasporti sono 20, tra i più importanti: domanda dei passeggeri; emissioni di GHGs; inquinamento acustico; capacità infrastrutturali; efficienza energetica; costo del carburante; occupazione nel settore; età media dei veicoli. Gli indicatori dell'**acqua** sono 11 e forniscono

informazioni utili a comprendere lo stato e le pressioni esterne sui vari tipi di acque (marine, costiere, dolce) e sono stati sviluppati in seguito alla Direttiva Europea 2008/56/CE, relativa alle politiche di gestione dell'ambiente marino. Questi indicatori vengono continuamente integrati per fornire informazioni più specifiche sullo stato di salute dell'ambiente acquatico. Tra i più comuni: uso delle risorse di acqua dolce; contenuto di nutrienti nelle acque; sostanze pericolose negli organismi marini; intensità di emissioni provocate dai settori industriali. Gli indicatori di **pesca, terra, suolo, green economy, consumi delle famiglie, rifiuti e scenari ambientali** sono più recenti e vengono utilizzati solamente dall'Unione Europea per il momento, armonizzando i risultati e le politiche degli stati membri. Riguardano ad esempio: lo stato degli stock di pesci; la produzione da acquacoltura; l'ammontare di siti contaminati; la spesa in consumi delle famiglie e la relativa pressione sull'ambiente; il numero di organizzazioni che utilizzano strumenti come certificazioni *EMAS e ISO 14001*; quantità di rifiuti prodotta; PIL e popolazione.

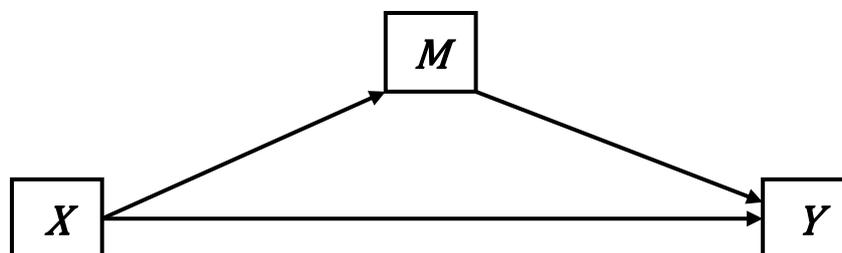
Tali indicatori sono fondamentali per monitorare lo stato di salute del pianeta in funzione di misure per incrementare gli sforzi necessari a raggiungere efficienti livelli di sviluppo sostenibile integrato nelle quattro dimensioni. Per tale ragione questi indicatori vengono utilizzati sia nei rapporti europei ed internazionali, sia nella letteratura scientifica in ambito di economia e sviluppo, al fine di dimostrare i risultati che sono stati raggiunti nei differenti ambiti di interesse dello sviluppo sostenibile. Allo stesso modo tali indicatori servono anche per porre l'attenzione della comunità su aspetti pericolosi che compromettono la salute dell'ambiente, con l'obiettivo di definire specifiche soluzioni che attuino dei cambiamenti nel sistema di stress che si è venuto a creare nell'ambiente, la maggior parte dei casi a seguito di azioni intraprese dall'uomo.

### 3.2 Il modello statistico della *mediation analysis*

Il modello della *mediation analysis* è un metodo statistico utilizzato al fine di analizzare gli effetti che un fenomeno causale  $X$  trasmette alla variabile  $Y$ , andando a determinare il meccanismo per il quale  $X$  influenza  $Y$ . Il modello della *mediation analysis* è dunque composto da tre variabili:

- $X$  variabile antecedente che influenza  $Y$  ed  $M$ ;
- $Y$  variabile conseguente;
- $M$  variabile antecedente e conseguente che influenza  $Y$ .

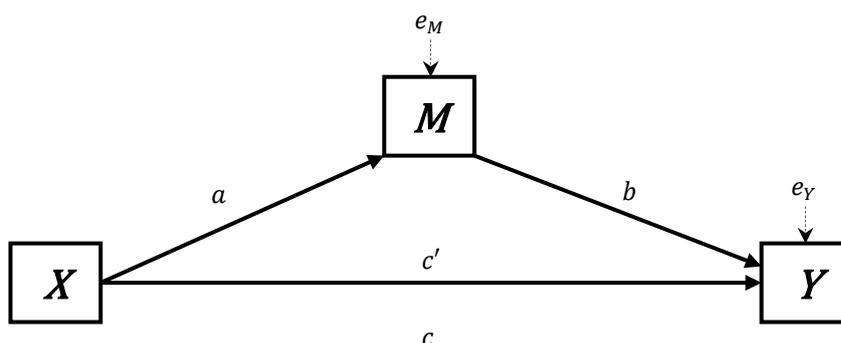
Dunque il modello viene rappresentato nel diagramma in Fig. 3.2 e definisce un sistema causale nel quale una variabile  $X$  influenza la variabile  $Y$  attraverso una variabile intermedia  $M$ , che viene dunque definita mediatore.



**Figura 3.2 Diagramma concettuale del modello di mediazione semplice**

Nel presente modello sono presenti due differenti relazioni per cui una specifica variabile  $X$  influenza la variabile  $Y$ . L'**effetto diretto** di  $X$  su  $Y$  e l'**effetto indiretto** di  $X$  su  $Y$  attraverso  $M$ . Quest'ultimo viene spiegato come la conseguenza della variabile antecedente  $X$  sulla variabile conseguente  $M$  e la conseguenza della variabile antecedente  $M$  sulla variabile conseguente  $Y$ . L'effetto indiretto rappresenta dunque come la variabile  $Y$  è influenzata da

X attraverso una sequenza causale in cui la variabile X influenza la variabile M, la quale a sua volta influenza Y. Per tale ragione M viene definita *variabile mediatrice* o *variabile intermedia*. Questo metodo può essere applicato nei casi in cui vi è una comprovata dimostrazione dell'effetto di una specifica variabile X su una determinata variabile Y, quindi quando vi è correlazione tra X e Y, sebbene studi di Bollen (1989) hanno dimostrato come anche casi di scarsa correlazione tra le variabili X e Y possono presentare la mediazione di una variabile M, andando quindi a definire la correlazione una *condizione né necessaria, né sufficiente per dimostrare la condizione di causalità tra due variabili*. Infatti, la relazione è un sistema causale in cui M è localizzata tra X e Y, assumendo che X causa M, la quale causa Y, altrimenti la relazione non sussiste.



**Figura 3.3 Diagramma statistico del modello di mediazione semplice**

La Figura 3.3 riporta il rapporto statistico tra le variabili del sistema causale, secondo le seguenti equazioni:

$$M = i_1 + aX + e_M \quad (7)$$

$$Y = i_2 + c'X + bM + e_Y \quad (8)$$

Nella relazione 7 e 8,  $i_1$  e  $i_2$  sono le intercette della regressione;  $e_M$  e  $e_Y$  gli errori nella stima di M e Y;  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $c'$  sono i coefficienti delle regressioni delle variabili antecedenti per la stima delle variabili consequenziali. Per investigare sulla relazione tra i differenti coefficienti e le variabili, a monte dell'analisi è necessario verificare che si presenti la condizione di significatività tra la variabile X e Y (rappresentata dal parametro  $c$ ), X e M (rappresentata dal parametro  $a$ ) e tra M e Y (rappresentata dal parametro  $b$ ).

I coefficienti del modello rappresentano le stime delle presunte influenze causali che ogni variabile del sistema ha sulle altre e l'obiettivo ultimo è proprio quello di stimare questi coefficienti per definire le effettive relazioni tra variabili antecedenti e conseguenti. L'effetto diretto della variabile antecedente X sulla conseguente Y è rappresentato da  $c'$  e quest'ultimo può presentare sia valori negativi che positivi. L'effetto indiretto di X su Y mediato da M viene invece rappresentato dal prodotto dei coefficienti  $a$  e  $b$ , il quale permette di stimare la variazione di X su Y come il risultato dell'effetto di X su M e di M su Y identificato da  $ab$  ( $ab = c - c'$ ). L'effetto diretto e l'effetto indiretto di X su Y sono invece rappresentati dal coefficiente  $c$  ( $c = c' + ab$ ), il quale quantifica gli effetti della variazione di X su Y. L'effetto indiretto è dunque la differenza tra l'effetto totale di X su Y e l'effetto di X su Y controllato da M, cioè l'effetto diretto. L'effetto indiretto sarà positivo quando i coefficienti sono entrambi positivi o negativi, mentre sarà negativo quando i coefficienti presentano segni opposti. Dunque l'effetto totale di X su Y può essere illustrato anche esprimendo Y come una funzione lineare di X, come rappresentato nella (9):

$$Y = (i_2 + bi_1) + (ab + c')X + (e_Y + be_M) \quad (9)$$

Secondo **Judd C. e Kenny D. (1981)**, controllando l'effetto di M, l'effetto di X su Y scompare e dunque la mediazione è verificata se  $c$  è significativo e  $c'$  non lo è. Nella

formulazione di **Baron R. e Kenny D. (1986)** invece, controllando l'effetto di M, l'effetto di X su Y decresce significativamente e la mediazione è verificata se  $c$  è significativamente più grande di  $c'$ . Queste interpretazioni vanno a determinare differenti metodi di interpretazione nei risultati emergenti dalla statistica inferenziale, poiché a volte può verificarsi un effetto di *occultamento* nella relazione tra le variabili X e Y (assenza di effetti causali), che emerge solamente quando si va ad investigare sull'influenza esercitata dalla variabile M su Y e quindi sull'effetto di  $c'$ , il quale diventa significativo e presenta un segno opposto rispetto al coefficiente  $ab$ .

Gli strumenti statistici che vengono utilizzati per definire le relazioni tra le variabili e tra i coefficienti sono *SPSS*, *SAS* e altri pacchetti statistici che sono dotati di programmi di equazioni strutturali mediate come *LISREL*, *AMOS* e *PROCESS*.

Utilizzando i programmi *SPSS* e *SAS*, durante le analisi di un modello di mediazione tra le variabili X e Y, la statistica inferenziale permette di utilizzare alcuni metodi che a monte verificano le ipotesi di causalità di **Judd C. e Kenny D. (1981)**, **James L. e Brett J. (1984)** e **Baron R. e Kenny D. (1986)**. Al fine di verificare l'effettivo rapporto di mediazione tra X e Y è necessario stabilire l'ipotesi nulla ( $H_0$ ) e l'ipotesi alternativa ( $H_1$ ) secondo le quali rispettivamente  $ab=0$  e  $ab \neq 0$ . Gli autori identificano la seguente metodologia al fine di studiare il fenomeno della mediation analysis e di dimostrare la consistenza dei dati con l'ipotesi che la variabile M effettivamente media la relazione tra X e Y:

1. Dimostrare che la variabile causale è correlata con il risultato finale, ovvero definire il rapporto mediato tra la variabile predittrice X e la variabile dipendente Y secondo una equazione di regressione che stimi il coefficiente  $c$ .
2. Dimostrare che la variabile causale è correlata con il mediatore, ovvero definire il rapporto tra la variabile predittrice X e la variabile dipendente M secondo una equazione di regressione che stimi il coefficiente  $a$ .

3. Dimostrare che il mediatore ha effetti sulla variabile di risultato, ovvero definire il rapporto tra la variabile predittrice M e la variabile dipendente Y e tra la variabile predittrice X e la variabile dipendente Y secondo una equazione di regressione che stimi il coefficiente  $b$ . In questo modo si stabilisce l'effetto diretto di M su Y controllato da X, senza cadere nell'errore della correlazione diretta tra M e Y in quanto entrambi dipendenti da X. Inoltre, viene così dimostrato l'effetto della variabile causale sul risultato finale controllato dal mediatore, ovvero che la variabile M media la relazione tra X e Y per mezzo del coefficiente  $c'$  e che il valore di quest'ultimo deve essere pari a 0.

I metodi per verificare l'effettività della relazione tra i coefficienti per dimostrare il ruolo del mediatore in un sistema di relazione tra due variabili sono di seguito riportati:

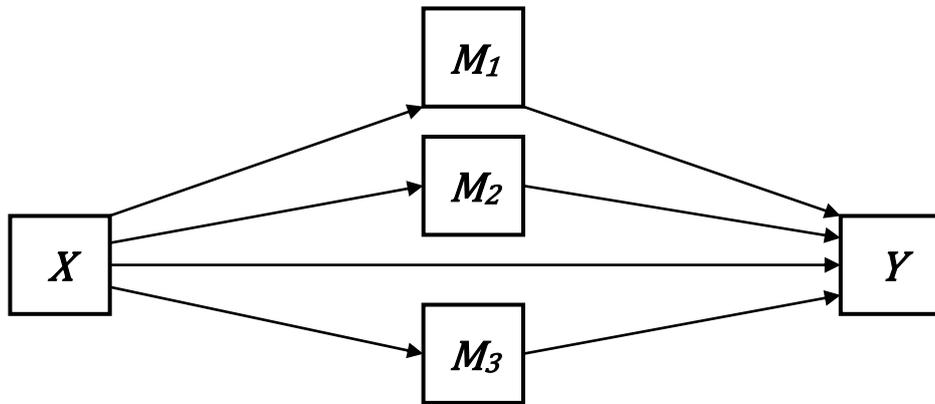
- **Test di Sobel**, che definisce il grado di significatività del coefficiente  $ab$  espresso dall'indice della *covarianza* (generalmente uguale a 0) e dal valore del *p-value* ( $<.05$ ). Il risultato del Sobel test stima un valore approssimativo dello *standard error* di  $ab$  sulla base delle informazioni contenute nei valori dello standard error di  $a$  e di  $b$ . Questo metodo conclude che la distribuzione dell'effetto indiretto sia normalmente distribuita, ma poiché a volte possono verificarsi dei fenomeni di *occultamento*, al fine di avere dei risultati più precisi si preferisce verificare la relazione tra i coefficienti anche secondo altri metodi.
- Il **metodo Bootstrap** (Efron 1987; Preacher et al. 2004) viene definito come metodo non parametrico e consiste nel ricampionamento del modello sottoposto all'analisi secondo un metodo casuale effettuato per raggiungere un campione più ampio formato da 5000 variabili. Per mezzo di questa metodologia viene identificato l'intervallo di confidenza del 95% e permette di limitare gli errori di previsione sul

rapporto della relazione  $ab$ . Se l'intervallo di confidenza non include 0 allora l'effetto indiretto del modello sarà significativamente diverso da 0.

- La *distribuzione dei prodotti e gli intervalli di confidenza asimmetrica* (MacKinnon et al. 2004) permette di riprodurre una distribuzione dell'effetto indiretto  $ab$  usando un approccio analitico sviluppato da Meeker et al. (1981), il quale permette di confrontare i risultati empirici con i valori critici al fine di costruire intervalli di confidenza asimmetrici.
- La *simulazione di Monte Carlo sulla distribuzione dell'effetto indiretto* (Preacher et al. 2012) genera un campione di distribuzione basato sui parametri di  $a$  e  $b$  e sui loro *standard errors*. Usando queste informazioni, le variabili casuali generate creano una distribuzione dei valori di  $ab$ , definendo così gli intervalli di confidenza e il *p-value* dell'effetto indiretto della relazione di mediazione.

In ogni modo, la statistica inferenziale con le ipotesi  $H_0$  e  $H_1$ , il rapporto dell'effetto indiretto  $ab$  sulla mediazione, il coefficiente dell' $R^2$  insieme all'indice della covarianza, della correlazione, dello *standard error* e del *p-value* permettono di identificare il grado di significatività del rapporto di mediazione negli intervalli di confidenza al 95%.

Modelli di mediazione semplice sono stati stimati in molti ambiti della letteratura scientifica, quali psicologia (Alter et al. 2011; Righetti et al., 2011), scienze cognitive (Debeer et al., 2009), medicina clinica (Costa et al. 2011), politica (Duncan et al. 2007; Wohl et al. 2009), scienze della comunicazione (Goodall et al. 2010; Shrum et al. 2011), economia (Brown et al. 2011; Patrick et al. 2011). La letteratura scientifica inoltre riporta modelli più complessi di mediation analysis (Rucker et al., 2011; Millet et al. 2007), in cui sono presenti più variabili  $M$  che influenzano in modo indiretto l'effetto di  $X$  su  $Y$ , riportati in Figura 3.4



**Figura 3.4** Diagramma concettuale di un modello di mediazione con un mediatore parallelo multiplo.

## CAPITOLO 4

### CASO STUDIO: IL DISTRETTO DI MACHACOS

Nel presente capitolo verrà analizzata la situazione generale del Kenya per evidenziare gli aspetti principali relativi alle variabili che compongono la qualità della vita e il benessere della popolazione secondo il metodo oggettivo. Considerato il livello medio di sviluppo del Paese, le biomasse di origine vegetale sono la fonte energetica maggiormente utilizzata per soddisfare la domanda energetica della popolazione, con livelli di impiego più elevati per ciò che concerne le aree rurali. Inoltre le biomasse legnose costituiscono la risorsa primaria per fini energetici specialmente legati ai processi di combustione, con effetti negativi per ciò che riguarda la salute della popolazione e la qualità dell'ambiente naturale. Verrà poi analizzato il distretto di Machakos, al fine di comprendere meglio la composizione della popolazione, i livelli di educazione e di impiego per mettere in evidenza le variabili sensibili nell'attuazione di un progetto di sviluppo sostenibile integrato che consideri la dimensione economica, sociale ed ambientale insieme a quella istituzionale per raggiungere una qualità della vita ben distribuita all'interno della popolazione sia urbana che rurale.

#### 1.1 Il Kenya

Il Kenya, o Repubblica del Kenya, è l'economia più grande e più avanzata dell'Africa orientale e centrale. La capitale è Nairobi, la quale rappresenta anche la città più estesa. Il territorio del Paese copre una superficie di circa 581.309 km<sup>2</sup>, è geograficamente localizzato all'equatore e si sovrappone alla valle tettonica dell'Africa Orientale, la quale copre un

terreno diversificato ed esteso che si estende approssimativamente dal Lago Victoria al Lago Turkana e più a sud-est verso l'Oceano Indiano. Il Kenya confina a sud e sud-ovest con la Tanzania, con l'Uganda ad ovest, con il Sud Sudan a nord-ovest, l'Etiopia a nord e la Somalia a nord-est (Figura 4.1). Il Kenya è un Paese densamente popolato e conta circa 48 milioni di persone e, sebbene sia l'economia più avanzata dell'Africa orientale e centrale, l'indice di sviluppo umano (HDI) è 0.519, classificandolo 145° su 186 Paesi nel mondo. Infatti il 17,7% dei keniani vive con meno di US\$ 1,25 al giorno.

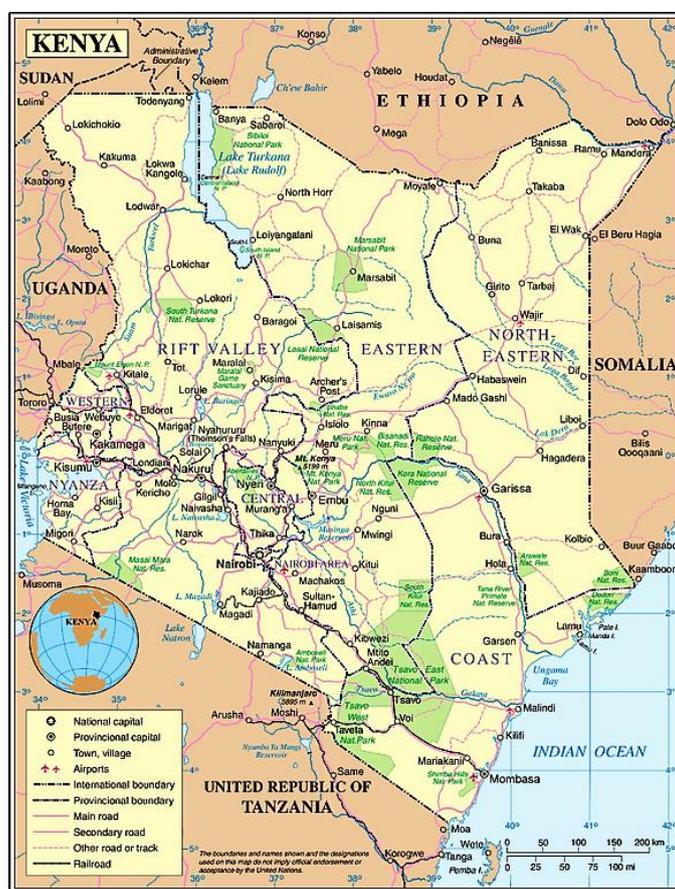


Figura 4.1 Mappa del Kenya.

Dopo il settore dei servizi, il settore agricolo rappresenta il 25% del PIL del Kenya, nonché il 18% dell'occupazione salariale e il 50% delle entrate provenienti dall'esportazione, con tè e caffè che rappresentano la quasi totalità dell'esportazione. Il Paese in ogni modo non ha ancora raggiunto un adeguato livello di investimenti e di efficienza produttiva tali da garantire una situazione di sicurezza alimentare, ma contrariamente una parte significativa della popolazione presenta condizioni di povertà (il 53% della popolazione vive sotto la soglia di povertà). Inoltre le infrastrutture non collegano in modo efficiente le aree urbane da quelle rurali, che accolgono la maggior parte della popolazione. L'industria e la produzione sono il settore più piccolo, pari al 16% del PIL, mentre il settore dei servizi rappresenta il 62%, incoraggiato dalla rapida espansione delle attività di telecomunicazione e da quella finanziaria, rendendo il Paese il centro di Africa orientale e centrale per i servizi finanziari.

Per quanto riguarda il **settore della salute**, il Kenya è il più avanzato e dinamico Paese dell'Africa sub-sahariana che offre assistenza sanitaria anche per le persone più povere, ma nonostante i maggiori risultati nel settore, continua ad affrontare molte sfide: la stima della speranza di vita è scesa a circa 61 anni nel 2012 (UNICEF, 2013); il tasso di mortalità materna è elevata (a causa anche della mutilazione genitale femminile, con circa il 27% delle donne che l'hanno subita); il tasso di fertilità totale in Kenya è stimato a 4.49 bambini per donna nel 2012; il tasso di mortalità infantile è circa 38 morti per 1.000 bambini nati (Central Intelligence Agency, 2016); malattie come la malaria, l'HIV/AIDS, la polmonite, la diarrea e la malnutrizione sono molto frequenti e per lo più correlate alla situazione di povertà, alle performance economiche del Paese e alla distribuzione del patrimonio.

Per quanto riguarda l'**educazione**, il Kenya non ha una politica governativa ben strutturata per favorire l'istruzione della popolazione, infatti il 38,5% della popolazione adulta keniana è analfabeta. Ci sono molte disparità regionali; per esempio, Nairobi presenta un livello più

elevato di alfabetizzazione (87,1%) rispetto alla provincia nord orientale (8,0%). La scuola materna, che riguarda i bambini dai tre ai cinque anni, è una componente integrale del sistema educativo ed è un requisito fondamentale per l'ammissione al primo grado di studi. L'istruzione formale di base inizia a sei anni e dura dodici anni, otto nella scuola elementare e quattro in scuola secondaria o superiore. La scuola primaria è per gli studenti di età compresa tra 6 e 7-13/14 anni ed è gratuita nelle scuole pubbliche. Al termine dell'istruzione primaria, gli alunni possono iscriversi alla scuola secondaria o alla formazione professionale. Coloro che completano la scuola superiore possono scegliere se iscriversi a un politecnico o ad un altro collegio tecnico e studiare per tre anni oppure se procedere direttamente all'università e studiare per quattro anni. I laureati dei politecnici e dei collegi possono entrare direttamente nel mondo del lavoro e successivamente possono ottenere una specializzazione a seguito di uno o due anni di formazione, oppure iscriversi all'università, al secondo o al terzo anno del rispettivo corso di studi.

Nonostante il suo imponente approccio commerciale e gli interessi nel paese, l'accademia e il sistema di istruzione superiore del Kenya sono notoriamente rigidi e sconnessi alle esigenze del mercato del lavoro locale e sono ampiamente colpevoli per l'elevato numero di diplomati universitari disoccupati e semifiniti che lottano per adattarsi nel posto di lavoro moderno.

#### **4.1.1 Qualità della vita e il benessere economico**

La popolazione del Kenya dalla fine della dominazione inglese (1970) ha registrato tassi di incremento crescente, fino a raggiungere circa 48 milioni di abitanti (World Bank, 2017). Contrariamente il PIL ha registrato tassi di crescita più lenti, presentando valori pro-capite

pari a US\$880 nel 1980 e US\$872 nel 1990, con un tasso di crescita rispettivamente pari a 0,4% e 0,7%. Dunque, gli alti tassi di povertà pro-capite caratterizzano la situazione di stagnazione economica del Paese, andando a delineare una condizione di povertà generalizzata che non presenta rilevanti differenze secondo specifiche macro aree. Infatti poiché generalmente il fenomeno dell'urbanizzazione è associato con un incremento delle attività economiche che portano a raggiungere adeguati livelli di sviluppo del settore terziario e dunque miglioramenti della qualità della vita della popolazione di un determinato Paese, ciò non sempre accade nei PVS, dove la relazione tra urbanizzazione e crescita economica non è del tutto lineare, come evidenziato da **Annez P. e Buckley R. (2009)** e da **Turok I. e McGranahan G. (2013)**. Infatti secondo gli autori, sebbene gli standard di vita migliorino nelle aree urbane piuttosto che in quelle rurali, studi più recenti (Gollin et al. 2016; Ravallion et al. 2007; Mitlin et al. 2013) dimostrano il fenomeno di crescita dello stato di povertà anche nelle città, particolarmente per i Paesi dell'Africa sub-sahariana, in cui dalla fine del colonialismo si sono registrati elevati tassi di inurbanamento corrisposti non da elevati tassi di crescita economica, ma da un incremento della povertà aggregata (Annez et al. 2009). Gli studi condotti da questi autori dimostrano pertanto come le città africane siano state incapaci di aumentare il livello di benessere e la qualità della vita della loro popolazione, aumentando invece le condizioni di ineguaglianza e povertà tra le aree urbane e quelle rurali. Per il caso specifico del Kenya, il fenomeno della crescita della popolazione registratasi negli anni '70 del XX secolo è stato affiancato dal processo migratorio dalle campagne alle città, in seguito alla fine delle restrizioni da parte del governo inglese che impedivano il verificarsi di questi spostamenti. Nairobi rappresenta ancora oggi la città più densamente popolata del Paese, in cui è concentrato il 50% del PIL (UN-Habitat, 2016), andando ad evidenziare sia la mancanza di un equilibrio economico nella crescita del Paese, sia un uno scarso sviluppo della popolazione in relazione alle variabili di benessere e qualità

della vita. Secondo dunque un sistema di misure oggettivo basato sulla capacità e sull'equa allocazione, è possibile definire il grado di profondità della condizione di povertà registrata nelle differenti aree del Kenya, al fine di trovare delle soluzioni che permettano di aumentare il benessere sociale e la qualità della vita secondo i principi dello sviluppo sostenibile integrato.

I dati più recenti che ci permettono di avere informazioni complete sulla composizione della popolazione e sulla sua distribuzione, risalgono al 2009. Il territorio del Paese è suddiviso in 47 contee di cui *Nairobi, Mombasa, Kisumu, Nakuru, Eldoret, Kikuyu, Ruiru, Kangundo-Tala, Garissa, Thika e Machakos* rappresentano i centri più densamente popolati.

Lo studio condotto da **Shifa M. e Leibbrandt M. (2017)** identifica una differenziazione nelle aree del Kenya in urbane, semi urbane e rurali per ogni centro urbano, con l'obiettivo di effettuare un'analisi sulla qualità della vita della popolazione. Gli autori seguono il metodo di Sen integrando l'analisi della popolazione secondo i criteri oggettivi di capacità e equa allocazione, andando a definire un sistema di indicatori pesati che evidenziano i livelli di educazione, salute, standard della vita e beni posseduti secondo 8 indicatori, definito indice di povertà multidimensionale (*MPI*). Nella categoria di standard della vita rientrano tutti quei servizi a cui la popolazione dovrebbe avere un accesso garantito, tra cui elettricità, acqua e cure sanitarie. Dall'analisi emerge che i livelli di povertà della popolazione del Kenya sono relativamente bassi per quanto riguarda la capitale, *Nairobi*, e nelle città in prossimità, *Ruiru, Thika e Kikuyu*. Contrariamente però un livello relativamente elevato di povertà viene registrato in altre città di secondaria importanza per densità di popolazione, come *Mombasa, Kisumu, Machakos e Garissa* (Tabella 4.1). Dunque, dallo studio emerge l'assenza di una relazione lineare tra le dimensioni della città e il livello di povertà della popolazione; inoltre la diffusione della condizione di povertà è correlata sia agli scarsi livelli di educazione della popolazione che ai bassi livelli di reddito pro-capite. Difatti, circa il 25%

della popolazione totale keniana dichiara di non aver ricevuto nessun tipo di educazione primaria, e solamente l'1,5% della popolazione ha frequentato l'università, mentre il 39.5% della popolazione dichiara di essere economicamente inattiva (22.1% donne, 17.4% uomini).

**Tabella 4.1 Indice aggregato di povertà per centri maggiormente popolati (adattamento da Shifa et al., 2017)**

Centri Urbani	MPI Totale	Povertà pro-capite (%)	MPI per concentrazione		
			Urbana	Semi-urbana	Rurale
<i>Nairobi</i>	0.126	27%	0.126	-	-
<i>Mombasa</i>	0.207	43.6%	0.203	0.383	-
<i>Kisumu</i>	0.218	46.1%	0.191	0.263	0.267
<i>Nakuru</i>	0.137	30.3%	0.134	0.177	-
<i>Eldoret</i>	0.176	38.5%	0.173	0.192	-
<i>Kikuyu</i>	0.14	31.1%	0.132	0.166	0.125
<i>Ruiru</i>	0.099	21.8%	0.097	0.286	-
<i>Kangundo-Tala</i>	0.234	47%	0.212	0.236	-
<i>Garissa</i>	0.316	61.1%	0.305	0.488	-
<i>Thika</i>	0.124	27.2%	0.119	0.169	0.169
<i>Machakos</i>	0.231	47.6%	0.179	0.246	0.266
<b>TOT. Kenya</b>	<b>0.287</b>	<b>54.6%</b>	<b>0.179</b>	<b>0.264</b>	<b>0.326</b>

Queste variabili indubbiamente contribuiscono alla perpetrazione di una situazione di povertà del Paese nel medio-lungo periodo. Inoltre gli standard di vita delle popolazioni nelle aree semi-urbane e rurali per ciò che riguarda accesso ai servizi (elettricità, acqua e cure sanitarie) è eccessivamente bassa, determinando degli impatti negativi su diversi aspetti che riguardano la qualità e il benessere della vita.

Così, il presente studio dimostra quantitativamente le condizioni di povertà della popolazione secondo il metodo oggettivo, non soffermandosi sull'analisi della componente ambientale come variabile dipendente. Difatti l'analisi della qualità dell'ambiente non è stata effettuata dagli autori, né sotto il punto di vista della gestione delle risorse naturali, né sotto la considerazione della componente rifiuti (produzione e smaltimento). Lo studio di **Dunkel F., Hansen L., Halvorson, S. e Bangert A. (2017)** utilizza un metodo qualitativo al fine di valutare la relazione tra qualità della vita e condizioni della salute. Infatti dal campione di donne intervistate (60) è emerso come la componente ambientale, sebbene non in modo rilevante, venga considerata una variabile importante per raggiungere efficienti livelli di vita nella popolazione dell'area rurale di Kakamega. Questa realtà rurale nell'area ovest del Paese è particolarmente affetta dalla malaria, malattia che contribuisce alla decrescita della qualità della vita della popolazione. Nello studio viene utilizzata la metodologia dell'approccio oggettivo per dimostrare l'importanza dell'integrazione degli aspetti relativi a educazione, salute ed ambiente per il raggiungimento di un miglioramento degli standard di vita nella popolazione. Infatti i risultati dimostrano come il campione attribuisca un maggiore punteggio alla componente economica, sociale ed ecologica per il raggiungimento di uno sviluppo che sia sostenibile e che permetta di migliorare le loro condizioni di vita, non soltanto sotto l'aspetto della salute, ma anche secondo la prospettiva di qualità di vita e benessere prolungato, sia per loro stesse che per i loro figli. Il 55,7% della popolazione attribuisce alla variabile economica (lavoro, impiego, attività) il peso

maggiore, seguita dall'educazione (23,0%) e dalla salute (11,5%). Per ciò che riguarda la variabile ambientale, essa viene valutata in stretta correlazione con il livello di salute e un ambiente salubre contribuisce per il 17,7% della popolazione ad aumentare la qualità della vita, poiché ne migliora le condizioni di salute.

Il raggiungimento di adeguati livelli di benessere dipende dunque dall'integrazione della variabile economica, sociale ed ambientale, rafforzando la tesi che uno sviluppo sostenibile può essere raggiunto solamente andando ad agire contemporaneamente su questi tre aspetti della società. Una variabile che è correlata con il benessere e la qualità della vita dunque è l'*accesso ai servizi essenziali*, quali acqua, energia e cure sanitarie. Proprio l'accesso all'energia dunque rientra nella classificazione delle variabili oggettive che assicurano alle popolazioni livelli elevati di qualità della vita e l'inadeguatezza del mercato energetico determina una situazione di povertà energetica in molti PVS, tra cui il Kenya, facendo dipendere la domanda delle famiglie delle aree urbane e rurali maggiormente dalle biomasse di origine vegetale, poiché facilmente accessibili e generalmente gratuite. Lo studio di tipo qualitativo condotto da **Sesan T.** nel **2012** su un campione di 15 persone appartenenti a 13 nuclei familiari analizza gli interventi delle organizzazioni internazionali intrapresi nel Paese per limitare l'utilizzo delle biomasse di origine vegetale nella popolazione al fine di limitare i danni ambientali e alla salute umana. L'autore evidenzia tre ambiti di intervento: *tecnologico*, andando a sostituire il processo di combustione delle biomasse di origine vegetale con altri metodi meno impattanti, come ad esempio l'implementazione di sistemi a biogas; *economico*, sovvenzionando e assistendo la popolazione nell'acquisto degli impianti di cogenerazione energetica; *culturale*, andando a formare la popolazione sull'importanza delle risorse naturali di origine vegetale, al fine di far comprendere non soltanto l'importanza della qualità dell'ambiente, ma anche i benefici correlati alla sostituzione del processo di combustione con metodi più innovativi

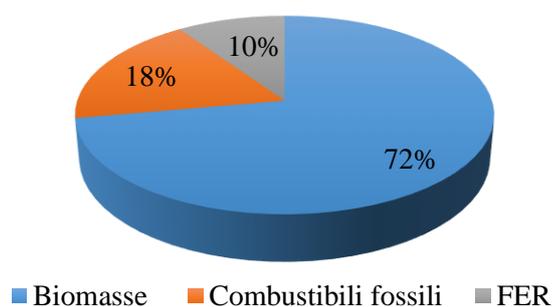
che permettano di incrementare indirettamente variabili quali il *tempo* e *l'educazione*. Questo aspetto emerge proprio nello studio di **Rehfuess et al. (2010)**, in cui viene evidenziato come la scelta del combustibile per scopi energetici sia correlata in modo significativo al genere (le donne sono le responsabili dell'approvvigionamento delle biomasse) e al livello di educazione della popolazione (maggiore è il livello di educazione, maggiore è la propensione a scegliere differenti forme energetiche rispetto alla combustione). Già nel 2001 **Kituyi et al.** avevano condotto una ricerca empirica al fine di dimostrare il consumo domestico annuale di vari combustibili in Kenya, portando l'attenzione internazionale sui consumi incrementali di legna utilizzati a scopi energetici. Nel 1997 sono state consumate circa 15.4 milioni di tonnellate di legna, e altrettanti 17.1 milioni sono stati convertiti in carbone, andando a confermare il ruolo preponderante delle biomasse di origine vegetale come fonte primaria di energia per combustione. Gli autori concludono che il consumo annuo per il 1997 è stato pari a 32.5 milioni di tonnellate. Al contempo i residui agricoli invece utilizzati a scopi energetico sono stati pari a 1,4 milioni di tonnellate e i risultati dimostrano che vi è la possibilità di valorizzare i residui agricoli per mezzo di tecnologie più efficienti che riducano il processo di conversione tramite la combustione.

Dunque questi studi supportano la teoria che il problema della povertà in Kenya è correlato alle variabili economiche, sociali ed ambientali e il mancato accesso al mercato energetico perpetra questa condizione di sottosviluppo che non permette alla popolazione di avere accesso a sistemi energetici più tecnologici e meno impattanti, andando così a compromettere non soltanto il capitale naturale, ma variabili quali educazione e salute. Soluzioni relative al problema energetico possono dunque mettere in atto il meccanismo di sviluppo sostenibile e il paradigma della sostenibilità forte, con l'obiettivo di andare a migliorare le condizioni della popolazione sotto differenti aspetti, quelli che vengono

identificati con il metodo oggettivo della qualità della vita, relativi alla salute, all'educazione e all'ambiente.

#### 4.1.2 Le biomasse tradizionali e l'accesso all'energia

Le biomasse tradizionali (legno, carbone vegetale, residui agricoli e forestali, reflui zootecnici) in Kenya rappresentano la fonte energetica primaria per la popolazione (72,2%), seguite dai combustibili fossili (17,2%) e infine dalle FER (9,6%), come riportato nella Figura 4.1 (IEA, 2017). Se l'accesso al mercato energetico nelle aree urbane raggiunge il 23% della popolazione, nelle aree rurali tale percentuale si abbassa notevolmente, fino al 5%, con un consumo pro-capite rispettivamente pari a 250 kWh e 67 kWh (IEA, 2016).



**Figura 4.1 Domanda energetica primaria (21.486 ktoe)**

Dunque, la fonte energetica primaria del Paese è rappresentata dalle biomasse vegetali e il legno solamente costituisce il 55% del consumo totale di energia primaria (IEA, 2016), con impatti diretti sull'ambiente e sulla salute della popolazione derivante dal processo di conversione energetica per mezzo della combustione. **Wamukonya L.** nel 1995 evidenzia come la popolazione rurale del Kenya sia largamente dipendente da questa materia prima:

per mezzo di uno studio quali-quantitativo su 100 nuclei familiari nelle zone di Embu, Nyeri, Wanguru e Kisumu l'autore ha dimostrato che le famiglie utilizzano un rudimentale fornello composto da tre pietre e alimentato con legno, residui agricoli o zootecnici e dallo studio emerge che il 15-35% del reddito mensile viene speso interamente per l'acquisto di materie prime energetiche (legno, petrolio, LPG). Ovviamente l'utilizzo di questo rudimentale fornello per la cottura degli alimenti determina la generazione di elevate quantità di fumo a causa del processo di conversione, andando a compromettere la salute della componente che si occupa delle mansioni domestiche (maggiormente donne e bambini). Lo studio limita l'indagine alla variabile economica, non andando ad investigare la componente sociale, come il tempo speso per l'attività di approvvigionamento.

#### **4.1.3 Sistemi a biomasse e potenzialità di applicazione**

Nel 1999 Senelwa K. e Sims R. effettuano un'indagine per valutare l'opportunità dell'istallazione di sistemi elettrici di piccola scala alimentati a biomasse in un'area rurale del Kenya, proponendo come soluzione al problema dell'accesso all'elettricità un sistema integrato sostenibile alimentato a legno derivante dalle foreste governative, andando a delineare un programma di gestione responsabile delle risorse naturali per le popolazioni delle aree rurali. Secondo le ipotesi degli autori, l'impianto dovrebbe essere in grado di generare circa 76 GWh di elettricità e altri 141 GWh di calore solamente dalla biomassa legnosa. Così per la prima volta in letteratura viene proposta un'alternativa sostenibile per la popolazione rurale del Kenya che permette l'accesso al mercato energetico tenendo in considerazione il fenomeno della preservazione del capitale naturale di origine legnosa, che dovrebbe avvenire tramite il supporto del governo. In questo modo, l'accesso all'elettricità

diventa una soluzione che definisce l'attuazione del paradigma dello sviluppo sostenibile, considerando la variabile tecnologica, ambientale, sociale ed economica in funzione della sostenibilità forte. L'utilizzo di bioenergia e sistemi che permettano di rivalutare i materiali di scarto ed i rifiuti (umani e/o zootecnici) vengono considerati in letteratura come delle soluzioni più efficienti e maggiormente accessibili che possano risolvere oltre il problema dell'accesso all'elettricità, anche specifici inefficienze della comunità che peggiorano le condizioni di qualità della vita della popolazione, come ad esempio i problemi igienico-sanitari (Yonemitsu et al., 2014). Il primo studio scientifico che analizza l'utilizzo dei residui organici come fonte energetica sostenibile e facilmente accessibile nelle aree rurali del Kenya è stato condotto da **Nzila C., Dewulf J., Spanjers H., Kiriamiti H. e van Langenhove** nel **2010**. Gli autori verificano l'efficienza di un sistema di biodigestione a bassa domanda tecnologica e a basso costo che converte i residui agricoli delle piantagioni di mais, orzo, cotone, tè e canna da zucchero in metano e dunque in energia elettrica e termica. Questa soluzione se applicata a livello nazionale andrebbe a produrre 1.243 m<sup>3</sup> di metano che genererebbero 3.916 GWh di elettricità e 5.887 GWh di energia termica. Questo studio quindi evidenzia le potenzialità di generazione energetica da residui agricoli presenti nelle aree rurali del Paese, andando così da un lato a sostituire l'utilizzo delle biomasse di origine legnosa e quindi a limitare l'impatto sull'ambiente (gestione delle foreste, emissioni e biodiversità), dall'altro a rendere più accessibile alla popolazione rurale il collegamento alla rete elettrica per mezzo della rivalutazione dei residui agricoli. Gli autori evidenziano come i residui di mais, la canna da zucchero e il tè siano le materie prime più efficienti nel processo di conversione in metano (rispettivamente 4.185, 1.045 e 436 x10<sup>3</sup> tonnellate all'anno) per la generazione energetica. Dato che però il consumo delle biomasse legnose è legato prevalentemente al processo di conversione per scopi di combustione, lo studio condotto da **Njenga M., Iiyama M., Jamnadass R., Helander H., Larsson L., Leeuw J.,**

**Neufeldt H., Nowina K. e Sundberg C.** nel 2015 confronta il sistema rudimentale maggiormente utilizzato in Kenya, con un impianto a gas, andando ad analizzare le seguenti variabili: facilità nell'utilizzo, consumo energetico, materia prima combustibile utilizzata, rischi per l'ambiente e per la salute. Il campione analizzato è composto da 5 famiglie casualmente selezionate da un gruppo di 57, andando ad analizzare i seguenti indici: concentrazioni di CO e PM<sub>2.5</sub> nell'ambiente dove avveniva il processo di combustione (cucina); potere calorifico dei due impianti secondo la materia prima utilizzata, ovvero gas o legno; il tempo impiegato per la cottura degli alimenti secondo i due metodi. I risultati emersi dall'indagine hanno dimostrato come le donne intervistate se inizialmente non manifestavano la volontà nel cambiamento del metodo di conversione, alla fine della valutazione qualitativa hanno dimostrato interesse nel nuovo processo di conversione energetico per la cottura di alimenti. Infatti, dalle analisi è emerso che i benefici della tecnica a gas riguardano un guadagno in termini di *tempo* (58%) e *combustibile* (52%), nonché una riduzione delle *emissioni* (54%) nell'ambiente domestico. Dunque i benefici dell'utilizzo del sistema a gas permette di attuare un piano di riduzione degli impatti ambientali derivanti dalla deforestazione e dalle emissioni del processo di combustione e di migliorare le condizioni della salute umana, riducendo le morti premature di donne e bambini correlate all'inquinamento atmosferico generato dalla combustione delle biomasse di origine vegetale. Il presente studio dunque pone l'attenzione anche sulla variabile *tempo* che definisce un vantaggio per la scelta del combustibile gassoso in sostituzione delle biomasse di origine vegetale. Questo risultato innovativo raggiunto da **Njenga et al.** attribuisce al processo di gassificazione un valore aggiunto in termini non soltanto di benefici sull'ambiente e sulla salute, ma enfatizza la variabile sociale *tempo* che aggiunge consistenza alla tesi che lo sviluppo sostenibile nelle aree rurali del Kenya passa anche attraverso delle semplici innovazioni che possono migliorare la qualità della vita e il benessere della popolazione, in

questo caso specifico andando a ridurre la dispersione del tempo delle persone che si occupano dell'approvvigionamento delle materie prime legnose a scopi domestici (donne e bambini) per poterlo investire in altre attività, ad esempio lavorative o educative. L'accesso al sistema elettrico può essere favorito soprattutto attraverso la rivalutazione di residui di produzione e/o dei reflui umani e zootecnici, poiché la materia energetica derivante dal processo di conversione per mezzo del processo anaerobico è proprio il metano. Questa materia prima secondo viene poi convertita in gas e attraverso un sistema tecnologico semplice permette la fornitura del gas utilizzato a scopi domestici nelle aree rurali del Kenya. Il processo di cogenerazione anaerobico risulta essere una soluzione energetica sostenibile per la popolazione keniana, poiché determina il miglioramento degli standard di vita della popolazione, andando a rafforzare la preservazione del capitale naturale critico rappresentato dalle biomasse legnose. Questi benefici si convertirebbero in una soluzione vincente anche per i problemi connessi alla salute umana con la letteratura scientifica che dimostra come la combustione relativa ai processi di generazione energetica domestica sia la prima causa di mortalità nelle popolazioni rurali, in cui donne e bambini rappresentano le fasce maggiormente colpite. Sistemi flessibili di conversione energetica e generazione di biogas rappresentano una soluzione facilmente accessibile per la popolazione del Kenya residente per lo più nelle aree rurali, dove la domanda energetica è legata prevalentemente alle biomasse. I sistemi flessibili inoltre permettono di processare i rifiuti organici generati dalla popolazione sotto forma di residui alimentari o liquami e reflui umani e zootecnici con effettivi benefici sull'ambiente e sulle condizioni della società. Lo studio di **Sovacool B., Kryman M. e Smith T. (2014)** analizza proprio i benefici di un sistema di cogenerazione flessibile in una comunità rurale del Kenya alimentato a biomasse da rifiuto organiche per la produzione di gas utilizzato a scopi domestici. Lo studio evidenzia le potenzialità del sistema flessibile per facilitare l'accesso della popolazione ai servizi energetici e gli autori

inoltre valorizzano questa metodologia anche come soluzione ai problemi del cambiamento climatico, come emissioni di GHGs e deforestazione, e alla sostenibilità agricola, poiché la materia prima utilizzata sono residui agricoli e alimentari. Il problema che gli autori evidenziano però è legato all'elevato costo inerente all'investimento iniziale, il quale potrebbe essere ridotto se le istituzioni keniane mettessero in atto delle misure grazie alle quali vengano incentivati per mezzo di sovvenzioni i sistemi innovativi a basso impatto ambientale.

A tale fine, la recente costituzione emanata nel 2010 ha definito nuove linee strategiche in materia di politica energetica, andando a delineare un nuovo sistema di tassazione pubblica con l'obiettivo di promuovere l'uso efficace delle materie prime in una modalità economicamente vantaggiosa per limitare le dispersioni energetiche e la generazione di rifiuti. Per mezzo di questo nuovo sistema di tassazione inoltre, parte dei gettiti fiscali è destinata all'ammodernamento dei servizi energetici per favorire le condizioni di accesso al mercato energetico anche alle fasce più deboli della società. Inoltre nel Paese vengono favoriti gli investimenti sia privati che pubblici per lo sviluppo della produzione di energia rinnovabile. Il sostegno agli investimenti in sistemi moderni ecocompatibili per la produzione energetica a bassa emissione di carbonio consente così l'attuazione di un modello di sviluppo sostenibile secondo il modello della sostenibilità forte (Bastrom, 2015, Kaditi, 2009). Con l'urgenza di promuovere uno sviluppo sostenibile integrato, differenti agenzie delle Nazioni Unite dal 2010 affiancano il governo keniano nella realizzazione di un piano quadro in linea con gli obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG) e l'Agenda 2030, per migliorare l'offerta energetica del Paese e renderla a più basso impatto ambientale e per implementare sistemi semplici che permettano anche alle popolazioni delle aree rurali di accedere al mercato energetico. Un esempio è dato dagli studi per implementare un progetto di sviluppo nel Kenya centrale, in cui è stato valutato un sistema composto da una un'attività

agricola e zootecnica e il corrispettivo costo ambientale in termini di emissioni di CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, con l'obiettivo di analizzare gli eventuali benefici portati dall'installazione un sistema di cogenerazione che converte i residui di produzione e i reflui zootecnici in energia elettrica (Ortiz-Gonzalo et al. 2017). Il processo di sviluppo apportato dal presente progetto analizza dunque le capacità di riutilizzo degli scarti agricoli derivanti dal processo di lavorazione di tè e caffè, andando a dare un valore aggiunto agli scarti con l'obiettivo di rendere più semplici le condizioni di accesso alla rete elettrica della popolazione. Dunque le potenzialità dell'utilizzo del sistema a biogas sono effettivamente positive per il Paese, al fine di migliorare le condizioni di vita della popolazione con sistemi a basso impatto ambientale che hanno efficacia anche sul miglioramento delle condizioni della salute. Indirettamente il miglioramento della qualità della vita porta al risparmio del tempo necessario all'attività di approvvigionamento delle materie prime energetiche, incidendo anche sul livello di istruzione delle famiglie. Questo aspetto è correlato ai benefici apportati dal sistema a biogas poiché gli elevati tassi di abbandono scolastico sono correlati al rispetto delle mansioni domestiche da parte degli individui di genere femminile specialmente nelle aree rurali del Kenya e con l'attuazione del sistema di generazione energetica, il tasso di abbandono potrebbe ridursi, apportando benefici sia ai singoli individui che all'intera famiglia in relazione agli studi di Kabir et al. (2013) Baiyeguni et al. (2014) Bisu et al. (2016) e Haftu et al. (2017) sulla correlazione tra la variabile educazione e la variabile ambiente.

## 4.2 Il distretto di Machacos

Il distretto di Machacos si estende su una superficie di 5.953 km<sup>2</sup> e confina con i distretti amministrativi di Nairobi e Kiambu a Ovest, Embu a Nord, Kitui a Est, Mukueni a Sud, Kajiado a Sud Est e Muranga e Kirinyaga a Nord Ovest (Figura 4.2).



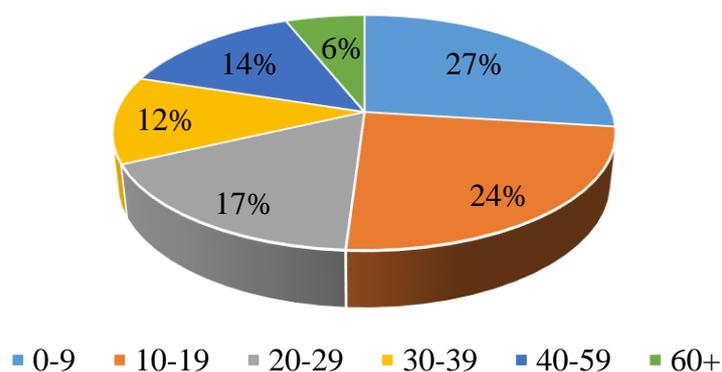
Figura 4.2 Localizzazione distretto di Machakos

Il distretto conta circa una *popolazione* pari a 1.098.584 persone, di cui il 51% di genere femminile e il 49% di genere maschile che sono distribuiti tra l'area urbana e quella rurale come riportato in Tabella 4.2.

**Tabella 4.2 Distribuzione della popolazione per genere e area**

<i>Genere</i>	<i>Zona</i>		<i>Totale</i>	<i>Zona</i>		<i>Totale</i>
	<i>Urbana</i>	<i>Rurale</i>		<i>Urbana (%)</i>	<i>Rurale (%)</i>	
<i>F</i>	282.082	273.363	555.445	25.7	24.9	<b>50.6%</b>
<i>M</i>	289.273	253.866	543.139	26.3	23.1	<b>49.4%</b>
<b><i>Popolazione Totale</i></b>	571.355	527.229	<b>1.098.584</b>	52	48	100

Secondo i dati del censo avvenuto nel Paese nel 2009, la popolazione del distretto di Machakos è distribuita secondo le seguenti fasce d'età: 0-17, 18-64 e over 65 con percentuali rispettivamente pari a 46%, 49% e 5% (Figura 4.3). Dunque la popolazione è tendenzialmente giovane, poiché il 68% degli individui ha un'età compresa tra 0-29 anni, rispecchiando fedelmente la composizione mediamente giovane del Paese.



**Figura 4.3 suddivisione della popolazione di Machakos secondo le fasce d'età**

Il distretto di Machakos vede nell'*agricoltura* la forma principale di reddito e occupazione per la popolazione, con colture quali mais e leguminose che rappresentano le superfici maggiormente coltivate (circa 250.800 ettari coltivati su 269.137 ettari totali). Anche l'*allevamento* ricopre una parte importante dell'economia, per lo più per il consumo rurale legato alla popolazione locale e capre, bovini e pecore rappresentano la maggioranza dei capi allevati, con rispettivamente, 330.300, 245.440 e 102.160 unità.

Per quanto riguarda gli indici di *educazione* relativi alla popolazione del distretto di Machakos, circa il 10% della popolazione è analfabeta mentre il 58% possiede un'istruzione primaria, il 20% secondaria e solo l'1% possiede un diploma universitario. Dalle ricerche emerge che il genere femminile presenta tassi di non frequenza o abbandono scolastico più elevati (55.578 individui) rispetto al genere maschile (35.574 individui) e questo dato è da collegarsi alla cultura e alle tradizioni per cui le donne devono occuparsi delle mansioni domestiche, senza aver bisogno di procurarsi i livelli minimi di educazione.

**Tabella 4.3 Tasso di occupazione per genere**

<i>Genere</i>	<i>Occupati</i>	<i>Inattivi</i>	<i>In cerca di impiego</i>
<i>F</i>	182.069	280.516	19.147
<i>M</i>	230.980	208.423	26.349
<b><i>Totale</i></b>	<b><i>413.049</i></b>	<b><i>488.939</i></b>	<b><i>45.496</i></b>

Infatti i *dati sul tasso di occupazione* riportati in Tabella 4.3 presentano una quota di popolazione inattiva pari al 51.6%, in cui il genere femminile rappresenta il 29.6%, a fronte del totale degli occupati che sono pari al 43.6% della popolazione, in cui il genere femminile questa volta è pari solamente al 19.2%. Riguardo alla popolazione di genere maschile invece, il 24% risulta occupato e il 20% non economicamente attivo. Inoltre, la popolazione femminile di Machakos che si occupa delle mansioni domestiche è pari a circa 264.500 individui.

Dunque la presente situazione determina livelli di qualità della vita e di benessere della popolazione molto bassi, specialmente perché nell'area rurale del distretto di Machakos circa l'80% della popolazione non ha accesso alla rete elettrica e le biomasse di origine vegetale rappresentano la fonte energetica primaria (71%). Il sottosviluppo viene confermato anche dalla forma agricola della sussistenza e dallo scambio dei beni sul mercato che avviene sotto forma di baratto, a conferma dell'elevato livello di povertà e disoccupazione della popolazione del distretto e dal basso livello di educazione riscontrato. In una situazione simile, le politiche di sviluppo sostenibile potrebbero essere applicate al fine di aumentare il benessere della popolazione secondo l'integrazione della dimensione economica, sociale ed ambientale per raggiungere migliori standard di vita e scelte più consapevoli in riferimento alle risorse naturali. Infatti l'utilizzo sistemi di biodigestione di residui agricoli, rifiuti agricoli e organici integrati con sistemi di raccolta di acque reflue e liquami potrebbero costituire una soluzione per ciò che riguarda l'aumento delle condizioni di vita della popolazione. Poiché circa solamente il 39% della popolazione nel distretto ha accesso a sistemi di fognatura, l'impiego di sistemi di codigestione permetterebbe sia di contribuire alla generazione energetica, sia di aumentare le condizioni igienico-sanitarie della popolazione.

## CAPITOLO 5

### APPLICAZIONE DEI METODI

Al fine di dimostrare l'ipotesi che uno sviluppo sostenibile integrato può essere raggiunto tramite l'attuazione di misure specifiche per migliorare il benessere e la qualità di vita di una popolazione, di seguito viene riportata l'applicazione di strumenti qualitativi e quantitativi per investigare sulla determinazione di un efficiente sistema di gestione delle risorse naturali. Con l'obiettivo di dimostrare la correlazione tra il cambiamento climatico e lo sviluppo sostenibile, vengono utilizzati i modelli del **DPSIR** e della *mediation analysis* su un caso studio di una comunità rurale in Kenya nel *distretto di Machacos*, Iiani.

#### 5.1 Biodigestori di tipo flessibile: tecnologie innovative

La "Biogas International Limited (BIL)" è un'azienda keniana con sede a Nairobi fondata nel 2011 che ha brevettato un modello di "*biodigestore di tipo flessibile*" semplice ed a basso costo per permettere alla popolazione di produrre energia (biogas, energia elettrica) in modo autonomo.

La differenza tra un sistema di cogenerazione fisso e il sistema di cogenerazione flessibile brevettato dalla BIL è riportato nella Figura 5.1, al fine di comprendere meglio la facilità nell'applicazione, nell'installazione e nella gestione dell'impianto. La differenza principale è che il biodigestore di tipo fisso è interrato, poiché è un sistema che processa per lo più i reflui umani convogliando la biomassa in specifiche camere dove si verifica il processo di digestione anaerobica, mentre il sistema flessibile viene installato vicino alle abitazioni domestiche per facilitare l'inserimento della materia organica generata dai rifiuti agro-

alimentari da parte dei componenti del nucleo familiare. L'immissione della biomassa avviene per mezzo di un sistema di tubature rigide che presentano una imboccatura più ampia (forma di imbuto) sull'estremità superiore, la quale facilita l'inserimento della materia organica.



**Figura 5.1 Sistema di biodigestione fisso (A) e sistema di biodigestione flessibile (B)**

Il sistema permette di ridurre l'impiego di combustibile di origine vegetale per la popolazione rurale ed esistono impianti già installati in scuole e abitazioni dislocate prevalentemente nelle aree rurali del Kenya, ma anche in altre località rurali dell'Uganda e Tanzania, con possibilità di attuare nuovi progetti in Mali, Ghana, Guinea e Nigeria. Il sistema di codigestione flessibile dell'azienda BIL è composto da tre elementi: il *ricettore* della materia organica in polietilene o PVC, dove avviene la digestione; le *tubazioni* in plastica, per il trasporto del biogas dall'impianto all'abitazione; una *copertura* in plastica, per proteggere il sistema e garantire il mantenimento della temperatura in un intervallo di 25-36 C°.

Nel sistema di cogenerazione flessibile, il processo biochimico è il medesimo di quello che avviene negli impianti di codigestione di tipo fisso: la digestione anaerobica utilizza gruppi microbici (batteri idrolitici, acidificanti e metanogeni) per degradare le sostanze organiche

presenti nella biomassa in biogas e in prodotti finali definitivi (digestati) attraverso diverse fasi (liquefazione, gasificazione e acidificazione) in condizioni ottimali di temperatura, pH, quantità e composizione del materiale organico per favorire le quattro fasi del processo anaerobico (idrolisi, acidogenesi, acetogenesi, metanogenesi). I sistemi flessibili offerti dall'impresa sono basati sul medesimo processo biologico, ma richiedono meno specializzazione tecnica: un solo giorno per l'installazione e da 7-10 giorni per raggiungere la completa operatività. Tra i servizi che l'impresa offre, troviamo anche corsi di affiancamento e formazione, oltre all'ordinario servizio di aggiornamento e manutenzione. I corsi di formazione sono diretti ai fruitori dell'impianto e forniscono informazioni circa la massimizzazione dell'efficienza del sistema riguardo alle biomasse che possono essere processate e le azioni di manutenzione per aumentare la durata di vita media del sistema. La materia organica giornaliera necessaria per la produzione di gas destinato al processo di combustione è pari in media a 15-30 kg di residui organici (rifiuti organici derivanti da alimenti, rifiuti di prodotti organici venduti al mercato, residui agricoli come erba, giacinti d'acqua o ritagli di giardinaggio) oppure 20 kg di rifiuti zootecnici al giorno (reflui zootecnici di maiale, capra, pecora, conigli, polli o altri animali). Ovviamente è possibile combinare la componente dei residui organici con quella dei reflui zootecnici per poter rendere più efficiente il sistema di conversione della biomassa e per poter permettere alle popolazioni rurali di massimizzare lo sfruttamento dell'impianto in funzione delle materie prime maggiormente accessibili e reperibili dalla popolazione. Per tale ragione inoltre, la composizione del nucleo familiare è fondamentale nella scelta del sistema di cogenerazione. Come riportato in tabella 5.1, i modelli brevettati dalla BIL sono tre, *DBG*, *BG5* e *BG6*, a seconda del numero di individui che compongono il nucleo familiare e dunque condizionano la produzione dei residui organici che poi andranno a generare il biogas. Per tutti e tre i modelli brevettati dall'impresa BIL il tempo necessario all'installazione dell'impianto di

codigestione è di un giorno ed i tecnici richiesti per seguire la fase di montaggio e formazione della popolazione delle comunità rurali sono due per i sistemi *DBG* e *BG5*, mentre per l'impianto più grande sono necessari tre tecnici. Il costo dell'impianto varia da US\$ 460 a 760 e la capacità di generazione di biogas su m<sup>3</sup> è pari a 4 per il modello più piccolo, 6 per il modello medio e 9 per il modello grande. Ovviamente la condivisione della spesa necessaria per l'investimento tra le famiglie delle comunità rurali permette sia di dividere i costi onerosi di installazione, sia di collaborare per poter generare la maggiore quantità di rifiuti organici per la generazione di biogas.

**Table 5.1 Modelli del sistema di cogenerazione flessibile brevettati da BIL company**

	<i>Modello</i>		
	<i>DBG</i>	<i>BG5</i>	<i>BG6</i>
Composizione nucleo familiare ( <i>N° persone</i> )	4-6	8-10	11-18
Capacità di generazione ( <i>m<sup>3</sup></i> )	4	6	9
Costo di istallazione ( <i>US\$</i> )	460,00	610,00	760,00
Tempo di costruzione ( <i>giorni</i> )	1	1	1
Personale addetto alla costruzione ( <i>N° tecnici</i> )	2	2	3

Nel nostro studio abbiamo concentrato l'attenzione sull'applicazione di questo sistema nella comunità rurale di un villaggio localizzato nel distretto di Machakos, studiando il sistema flessibile alimentato a scarti agro-alimentari ed a rifiuti zootecnici, limitando l'analisi a

questa categoria e non includendo le potenzialità di applicazione per i sistemi di smaltimento dei reflui umani. Gli impianti che processano questa categoria di residui organici vanno a migliorare l'accesso della popolazione a sistemi di smaltimento che di conseguenza apportano benefici alle condizioni igienico-sanitarie. Difatti nel distretto di Machakos solamente il 39% della popolazione ha accesso a veri e propri sistemi di fognatura; il 34% della popolazione utilizza fosse biologiche per lo smaltimento dei reflui; il 27% invece non ha accesso a sistemi di raccolta e riutilizzo dei reflui. Ulteriori analisi potrebbero essere svolte per definire i benefici del sistema di raccolta e riutilizzo dei reflui umani come possibile metodo di generazione energetica e miglioramento delle condizioni igienico-sanitarie.

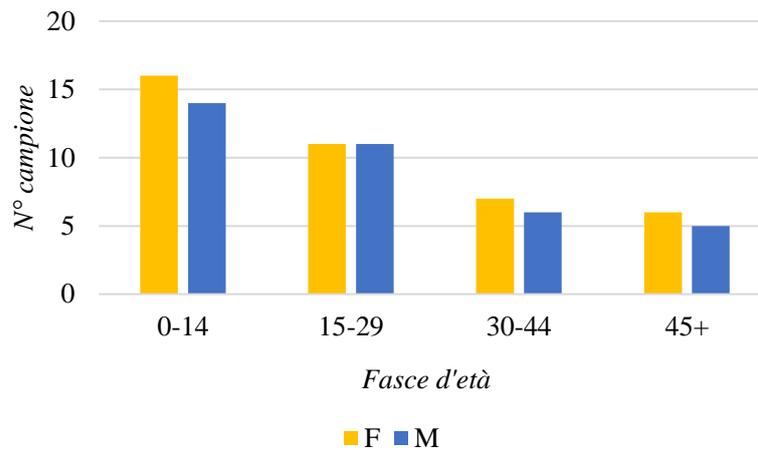
## **5.2 La comunità rurale di Iiani**

La comunità rurali di Iiani si trova nell'area del distretto di Machacos e conta una popolazione pari a 2.300 persone. Essendo un'area rurale, l'attività principale è rappresentata dall'agricoltura e dall'allevamento, la quale impiega circa il 50% della popolazione, mentre il settore dei trasporti e quello dei servizi occupano una piccola percentuale dell'economia del villaggio (rispettivamente 20.5% e 29.4%).

Con l'obiettivo di applicare il modello DSPiR e il metodo della mediation analysis, è stato condotto un questionario su un campione rappresentativo composto da 76 individui residenti nella comunità rurale. Le variabili sensibili che sono state inserite nel questionario al fine di poter attuare le analisi di tipo statistico riguardano la composizione della popolazione (genere), i livelli di educazione (nessuna, primaria, secondaria, liceo, università), la composizione del nucleo familiare (0-3 individui, 4-7 individui, 8+ individui), l'occupazione

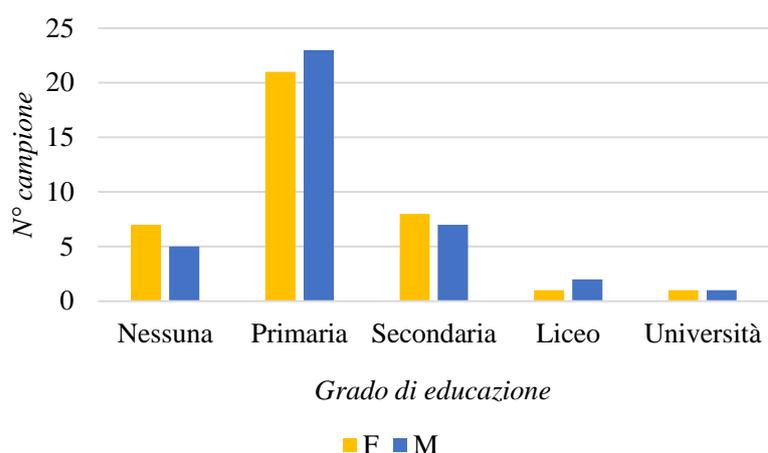
(occupato, in cerca di impiego, inattivo, studenti). Il questionario è stato redatto prima in lingua inglese e poi tradotto in kiswahili, la lingua parlata dalla comunità rurale, ed è stato somministrato alla popolazione del villaggio di Iiani durante i mesi di giugno e luglio 2017. L'analisi è stata effettuata con l'obiettivo di definire quale sia la materia prima energetica maggiormente utilizzata dalla popolazione del villaggio, per analizzare alcuni aspetti fondamentali per l'attuazione del paradigma della sostenibilità, quali la variabile *tempo* dedicato all'approvvigionamento della materia prima e l'eventuale *costo* delle risorse energetiche qualora venissero acquistate. Sono state poste delle domande al campione per valutare la coscienza individuale rispetto alla variabile ambientale, per poter comprendere eventuali misure di gestione delle risorse naturali responsabili. L'obiettivo dello studio è quello di mostrare alla popolazione l'innovazione tecnologica semplice identificata con il biodigestore di tipo flessibile alimentato a residui agricoli, rifiuti zootecnici e rifiuti organici per poter permettere alla popolazione un accesso all'energia sostenibile e più efficiente per svolgere le mansioni di tipo domestico. Infine, la totalità del campione non ha accesso alla rete elettrica.

Nello specifico del caso studio analizzato nella comunità rurale di Iiani, il campione che è stato analizzato è composto da 40 individui di genere femminile (52%) e da 36 individui di genere maschile (48%). La distribuzione della popolazione per fasce d'età è riportata nella Figura 5.2 ed evidenzia una composizione generalmente giovane, con il 39.5% della popolazione compresa tra 0-14 anni; il 28.9% della popolazione compresa tra 15-29 anni; il 17.1% della popolazione compresa tra 30-44 anni e il 14.5% della popolazione dai 45+. Il campione è significativo in quanto rispecchia la composizione demografica relativa al distretto di Machakos.



**Figura 5.2 Distribuzione del campione per genere e fasce d'età.**

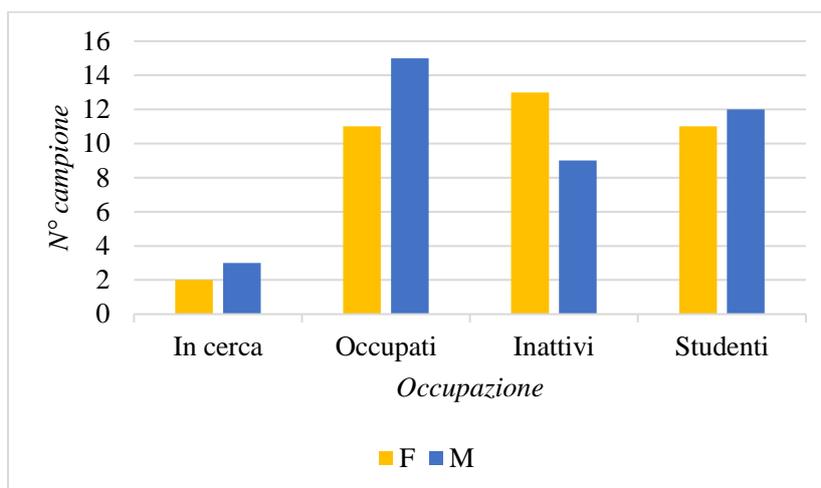
Per quanto riguarda i livelli di educazione della popolazione analizzata, il 58% del campione possiede un livello di educazione primaria, come riportato in Figura 5.3, con gli individui di genere maschile che presentano livelli di istruzione più elevati per ciò che concerne il primo grado di studi. La variabile che riguarda la totale assenza di educazione è maggiore per la componente femminile, il linea con quanto riportato anche nelle analisi del distretto di Machakos ed a conferma che gli individui di genere femminile presentano un tasso di educazione inferiore per via della cultura e della tradizione secondo la quale, esse devono occuparsi delle mansioni domestiche, tra cui l'approvvigionamento delle biomasse legnose a fini energetici. Dai dati si evidenzia però che sebbene il campione femminile presenti tassi di frequenza scolastica generalmente inferiori rispetto al campione maschile, nel grado di educazione secondaria, il campione femminile presenta livelli di educazione maggiori, andando a dimostrare che la componente di genere femminile che riesce a finire le scuole primarie, ha più possibilità di continuare gli studi nel percorso di educazione di tipo secondario.



**Figura 5.3 Grado di educazione del campione per genere e fasce d'età.**

Per quanto riguarda invece il tasso di occupazione della popolazione, come mostrato nella Figura 5.4, gli occupati totali nell'area del villaggio di Iani sono pari al 34.2% della popolazione con il settore agricolo che vede la maggior parte degli impiegati (50.1%), seguito dal settore dei trasporti (20.5%) e da quello dei cosiddetti business locali (29.4%).

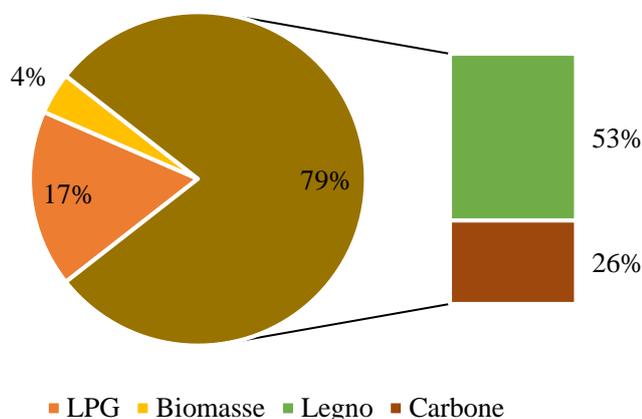
La categoria che dalle analisi risulta maggiormente impiegata in riferimento agli occupati è quella maschile, con il 57.7% rispetto a quella femminile, che si attesta al 42.3%. Tale differenza va ad evidenziarsi per quanto riguarda la categoria degli inattivi: questi rappresentano il 28.9% della popolazione totale, ma questa volta la componente femminile presenta valori più elevati, attestandosi al 59.1% rispetto alla componente di genere maschile, che riporta valori pari al 40.9%. Per ciò che concerne gli individui in cerca di lavoro al momento dell'indagine, questa categoria riporta valori totali pari al 6.6% e il campione maschile (60%) è più attivo rispetto a quello femminile (40%). Sotto la categoria "altro" vengono identificati gli individui che sono iscritti ad un corso di studi, e rappresentano il 30.3% del campione.



**Figura 5.4 Distribuzione del campione della variabile occupazione per genere e fasce d'età**

Una parte molto importante del questionario è quella riguardante le materie prime energetiche utilizzate a fini domestici. Poiché nei PVS le biomasse di origine vegetale vengono maggiormente utilizzate dalle popolazioni rurali per scopi energetici, nell'analisi si è deciso di valutare l'impatto delle risorse energetiche secondo la variabile economica, ambientale e sociale, andando ad analizzare le tipologie di materie prime maggiormente utilizzate dalla popolazione di Iiani, la reperibilità, il costo economico. Inoltre particolare attenzione è stata posta nell'investigare gli eventuali responsabili dell'attività di approvvigionamento delle materie prime energetiche e il tempo speso per la reperibilità, valutando l'accessibilità anche secondo variabili geografiche. Nell'analisi quindi sono state riportate le tre forme più comunemente utilizzate dalla popolazione come risorse energetiche, ovvero la biomassa legnosa (legno e carbone), la biomassa organica (residui organici e rifiuti zootecnici) e la materia prima di origine fossile (LPG). Dall'indagine è emerso che il 79% della popolazione rurale basa la sua domanda energetica sul legno (53%) e sul carbone (26%), l'LPG si attesta a quota 17% e le biomasse organiche solamente al 4% (Figura 5.5). Inoltre è stato investigato sul tipo di composizione familiare della popolazione

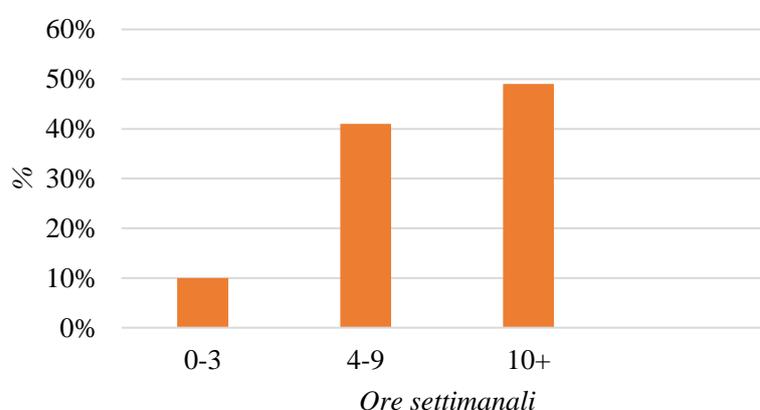
del villaggio di Iiani, con l'obiettivo di comprendere l'organizzazione familiare e identificare il ruolo di chi prende le decisioni riguardanti la comunità all'interno di ogni gruppo.



**Figura 5.5 Materie prime energetiche utilizzate dalla popolazione**

La composizione familiare è correlata alla quantità di materia prima utilizzata a scopi energetici e al corrispettivo costo, sia in termini economici che secondo al variabile tempo e per tale motivo l'organizzazione familiare è stata inclusa nell'indagine investigativa. Sono stati definiti tre categorie, la prima che comprende un nucleo familiare piccolo, che va da 0-3 individui e identifica il 16% della popolazione; una seconda categoria che comprende un nucleo familiare medio dai 4-7 individui e identifica la maggior parte della popolazione, con il 61%; l'ultima categoria che definisce un nucleo grande di persone, da 8 in su e identifica il 23% della popolazione. Come riportato in letteratura scientifica, anche nella presente indagine è emerso che la materia prima maggiormente utilizzata a scopi energetici è il legno e viene acquistata sul mercato solamente dal 24% della popolazione, mentre per il restante 76% viene prelevato dalla popolazione dalle zone boschive e forestali presenti nelle vicinanze del villaggio. Questa componente dell'analisi investigativa dimostra come la popolazione sia rilegata all'utilizzo delle risorse naturali, senza prestare attenzione ad un uso

responsabile della materia prima legnosa e designando la componente di genere femminile come responsabile dell'attività di approvvigionamento. Infatti, dalla ricerca emerge che il 71.1% del campione femminile dell'indagine (28) è responsabile dell'attività di reperimento delle materie prime di origine legnosa (legno e carbone), attività che richiede un dispendio di tempo settimanale e proprio per tale ragione, la variabile tempo necessario all'approvvigionamento è stata valutata in ore settimanali dedicate a questa attività ed è stata suddivisa in tre categorie: 0-3 ore; 4-9 ore; 10+ ore. Bisogna precisare però che in questa categoria è stato incluso anche il tempo utilizzato per l'acquisto delle materie prime energetiche sul mercato, al fine di poter rendere l'indagine più precisa nel riportare il tempo effettivo speso per l'approvvigionamento di qualsiasi materia prima energetica considerata nell'analisi, acquistata o ricercata. Come riportato in Figura 5.6, le ore settimanali spese per il reperimento delle materie prime energetiche fanno parte delle categorie più elevate, 4-9 e 10+.



**Figura 5.6 Tempo utilizzato per l'approvvigionamento di materie prime energetiche (ore settimanali)**

Per quanto riguarda il costo in termini economici delle materie prime energetiche, in tabella 5.2 sono stati riportati i costi medi secondo i dati nazionali relativi a legno, carbone e LPG, calcolando sia il costo giornaliero che il costo medio annuo in US\$ e in emissioni di CO<sub>2</sub>.

**Tabella 5.2 Spesa media (giornaliera e annuale) per l'acquisto di biomasse e corrispettivo di emissioni di CO<sub>2</sub>/kg.**

	<i>Legno</i>	<i>Carbone</i>	<i>LPG</i>
Costo medio giornaliero (US\$/giorno)	0,80	1,70	2,34
Costo medio annuo (US\$/anno)	292,00	620,50	854,1
Fattore di conversione (CO <sub>2</sub> /kg)	1.64	7.917	5.68

Al campione inoltre, sono state sottoposte delle domande per valutare l'attenzione all'ambiente dei singoli individui intervistati e dalle analisi è emerso che la componente ambientale non viene considerata come una realtà da tutelare, ma solamente una fonte di approvvigionamento di materie prime e solamente per mezzo della discussione tra l'intervistatore e il campione sono stati compresi i limiti dell'ambiente naturale ed è stata compresa l'importanza dell'utilizzo responsabile delle risorse naturali. Inoltre, è stata investigata la conoscenza del campione rispetto a sistemi di generazione energetica flessibile alimentati a residui organici e rifiuti zootecnici e solamente una percentuale ristretta di individui (5%) era a conoscenza del sistema di cogenerazione a bassa domanda tecnologica, ma è stato registrato un interesse nel comprendere i vantaggi dell'impianto ed è emersa una propensione all'acquisto della tecnologia. I costi per l'installazione dell'impianto di codigestione sono compresi tra US\$ 460-760, a seconda della tipologia di interesse, la quale è dipendente dalla composizione media del nucleo familiare. Infatti, i modelli brevettati dall'impresa BIL sono di tre tipologie, a seconda della produzione media di rifiuti organici necessari alla corrispondente generazione di gas metano, che in seguito verrà trasformato in energia.

### 5.3 Analisi qualitativa: il modello DSPIR

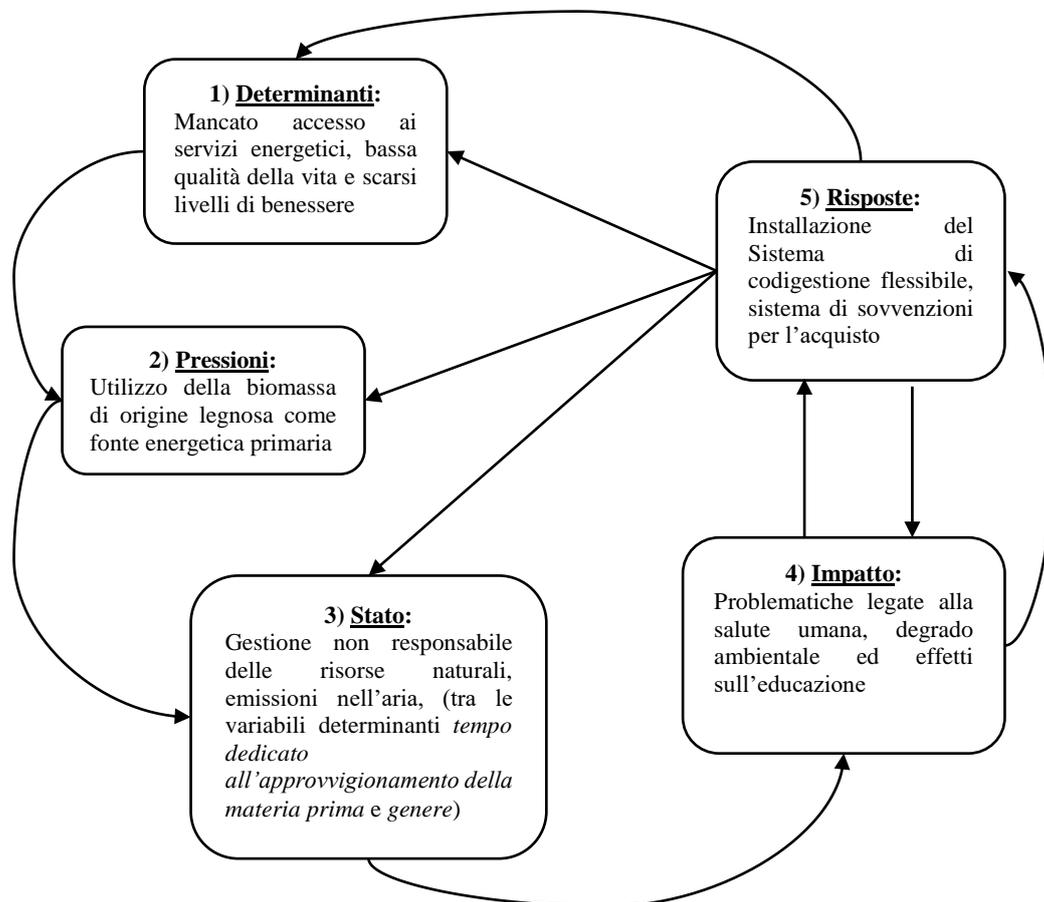
Con l'obiettivo di valutare i benefici dell'installazione dell'impianto di cogenerazione energetica flessibile, è stato utilizzato il modello DSPIR con le determinanti, le pressioni, lo stato, l'impatto e le risposte associate al modello in esame. Infatti, per definire l'impatto determinato dall'impiego delle biomasse di origine legnosa sulla dimensione ambientale, economica e sociale è stato definito lo schema riportato in Figura 5.7 al fine di specificare la logica dell'intervento legata all'implementazione di soluzioni di sviluppo sostenibile che permettano alla popolazione di migliorare i livelli di qualità della vita e benessere in relazione all'installazione del sistema di cogenerazione flessibile come soluzione per le comunità rurali per l'accesso all'energia. Considerando il caso studio del villaggio di Iiani nel distretto di Machacos, il modello teorico è così spiegato:

1. **Determinanti:** l'impossibilità della popolazione rurale del villaggio non ha accesso alla rete elettrica e dunque presenta livelli di qualità della vita molto bassi, così come basso è il livello di benessere legato alla componente economica che determina un generalizzato tasso di povertà nel campione analizzato.
2. **Pressioni:** la forma più accessibile e disponibile, nonché gratuita è rappresentata dalla biomassa legnosa presente nelle zone limitrofe della comunità, utilizzata come forma energetica primaria dal 79% della popolazione.
3. **Stato:** le condizioni dell'ambiente in riferimento alla domanda di biomassa vegetale sono compromesse a causa di una gestione non responsabile della materia prima da parte della popolazione, delle emissioni generate dal processo di combustione del legno e del carbone e dal risultante degrado ambientale. Inoltre, poiché la componente femminile è la preposta ad occuparsi delle mansioni domestiche, a questa spetta anche l'approvvigionamento della materia prima (dallo studio vengono

dedicate in media 26 ore settimanali a questa attività) insieme ai bambini di età compresa tra 0-9 anni che non frequentano istituti scolastici

4. **Impatto:** la risultante di questo sistema basato sull'utilizzo di materia prima vegetale legnosa (legno e carbone) compromette tre specifici aspetti dello sviluppo sostenibile: la variabile ambientale, con una gestione non responsabile delle materie prime e con il rilascio di emissioni climalteranti correlate al processo di combustione del legno e del carbone per la generazione di energia; la variabile salute, con ripercussioni negative sia su chi si occupano dell'approvvigionamento della materia prima che del processo di trasformazione a fini energetici, con effetti diretti maggiormente su donne e bambini; la variabile educazione, poiché l'elevato tasso di abbandono scolastico o non frequenza dei corsi di istruzione di primo grado o di gradi superiori è correlato alle attività di gestione delle mansioni domestiche da parte della componente di genere femminile, andando a determinare una perpetrazione del circolo vizioso della povertà, generato anche dal mancato accesso a sistemi di generazione energetica e sostenibile.
5. **Risposte:** le soluzioni che possono essere attuate in maniera efficace per permettere alla popolazione dislocata nelle aree rurali di accedere ai servizi energetici sono identificate nell'installazione dell'impianto di cogenerazione energetica flessibile, che richiede bassi livelli di specializzazione tecnica per l'utilizzo e permette di contribuire all'allargamento dell'accesso all'energia anche alle popolazioni delle aree rurali e appartenenti alle fasce più a basso reddito. Per abbattere la barriera del costo di investimento dell'impianto, sistemi di sussidi potrebbero essere una soluzione possibile per incentivare la sostituzione delle biomasse legnose con la valorizzazione di residui agro-alimentari per mezzo del processo di cogenerazione energetica implementato dall'impresa BIL.

Il presente modello permette così di attuare il paradigma della sostenibilità forte, andando a migliorare la condizione dell'ambiente e lo stock di risorse naturali di origine legnosa, con benefici in termini di riduzione di emissioni e gestione responsabile delle foreste. Inoltre la variabile tempo dedicato all'approvvigionamento verrebbe valutata, permettendo a chi si occupa di questa mansione di potersi dedicare ad attività più produttive, così come la educazione verrebbe valorizzata, permettendo alle fasce più giovani di continuare la formazione scolastica senza dover contribuire ai doveri domestici.



**Figura 5.7** Applicazione del modello DSPIR al villaggio di Iiani, Machakos

#### **5.4 Analisi quantitativa: il modello della mediation analysis**

Per comprendere i rapporti più significativi tra le variabili che determinano l'utilizzo delle biomasse di origine vegetale come fonte energetica principale e gli effetti sull'ambiente e sulla società, è stato utilizzato il metodo della mediation analysis. Le informazioni pervenute tramite il questionario somministrato alla popolazione rurale di Iiani sono state estratte ed organizzate per mezzo di un file Excel, in cui le variabili qualitative e nominali (genere, età, livello di istruzione, occupazione, tipologia di combustibile utilizzato, responsabile approvvigionamento, tempo settimanale utilizzato per l'approvvigionamento del combustibile, propensione all'acquisto del sistema di biodigestione flessibile,) sono state convertite tramite un sistema numerico bivariato (0-1) o multivariato (0-1-2-3-4), mentre le variabili quantitative e numeriche (composizione del nucleo familiare, consumo pro-capite di combustibile, emissioni di CO<sub>2</sub> rilasciate nell'ambiente), sono state riportate secondo le informazioni generate dal questionario. Per quanto riguarda la variabile relativa alle emissioni di CO<sub>2</sub>, è stata calcolata secondo il fattore di conversione sulla base dell'IPCC e dell'Environmental Protection Agency statunitense (EPA, 2014). Il questionario con le variabili numeriche utilizzato nel programma SPSS e Process è riportato nell'Appendice 1. Per mezzo del modello statistico della mediation analysis si è cercato di comprendere quantitativamente gli effetti diretti, indiretti e parziali di una variabile antecedente X sulla variabile conseguente Y, spiegati da alcune variabili antecedenti e conseguenti identificate da M. L'obiettivo è dimostrare le relazioni tra le variabili più significative ed il loro impatto sulla definizione di strategie per l'attuazione di un modello di sviluppo sostenibile in grado di migliorare la qualità della vita ed il benessere della popolazione, investigando sulla relazione tra la dimensione ambientale, sociale ed economica e valutando il fattore tempo come rilevate ai fini dello studio. I modelli studiati sono tre, riportati nella Tabella 5.3.

In tutti e tre i modelli è stata effettuata inizialmente un'analisi di regressione lineare per verificare alcuni valori che dimostrassero l'effettiva significatività nel rapporto tra la variabile X e la variabile Y, come condizione necessaria, ma non sufficiente per dimostrare gli effetti dei mediatori M sul sistema.

**Tabella 5.3 Modelli di mediation analysis studiati**

<b>Modello</b>	<i>Variabile indipendente</i> <b>X</b>	<i>Variabile dipendente</i> <b>Y</b>	<i>Variabile mediatore</i> <b>M</b>
1	Tipologia combustibile utilizzato** (USO_mpCAL)	Emissioni totali di CO <sub>2</sub> *** (CO2_EMIS)	Tempo** (TEM_SE) Educazione** (TITOLO)
2	Tempo** (TEM_SE)	Tipologia combustibile utilizzato** (USO_mpCAL)	Educazione** (TITOLO) Consumo pro-capite combustibile*** (CONS_PC) Emissioni totali di CO <sub>2</sub> *** (CO2_EMIS)
3	Educazione** (TITOLO)	Attenzione all'ambiente* (AMB)	Tipologia combustibile utilizzato** (USO_mpCAL) Occupazione** (OCCUPAZ) Tempo** (TEM_SE) Consumo pro-capite combustibile*** (CONS_PC)

\*variabile bivariata

\*\*variabile multivariata

\*\*\*variabile scalare

Le analisi di statistica descrittiva effettuate per valutare la relazione tra la variabile X e la variabile Y e tra la variabile X e la variabile mediatore M hanno preso in considerazione la correlazione, il coefficiente  $\beta$  e il valore dell' $R^2$  e sono riportate nella tabella 5.4.

**Tabella 5.4** Analisi di statistica descrittiva per definire i rapporti di correlazione e significatività tra le variabili del modello.

<b>Modello</b>	<b>Variabili</b>	<b>Correlazione</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente <math>\beta</math></b>
<b>1</b>	USO_mpCAL	.000	.310	.557
	CO2_EMIS			
	USO_mpCAL	.000	.316	.562
	TEM_SE			
USO_mpCAL	.001	.120	-.346	
<b>2</b>	TEM_SE	.000	.316	.562
	USO_mpCAL			
	TEM_SE	.000	.245	-.495
	TITOLO			
	TEM_SE	.003	.098	.313
	CONS_PC			
	TEM_SE			
CO2_EMIS	.042	.040	.200	
<b>3</b>	TITOLO	.000	.407	.216
	AMB			
	TITOLO	.002	.312	-.346
	USO_mpCAL			
	TITOLO	.003	.450	-.114
	OCCUPAZ			
	TITOLO	.000	.245	-.495
	TEM_SE			
	TITOLO	.028	.063	-.252
CONS_PC				

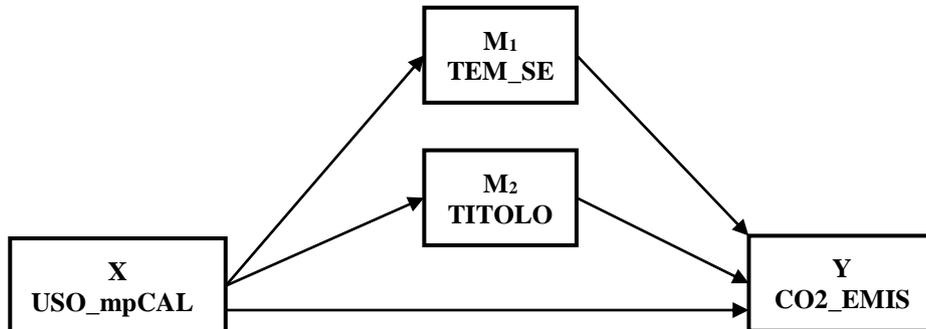
Da ciò che emerge dall'analisi, i rapporti di correlazione stimati tra le variabili X e Y e X e M sono generalmente significativi, ad eccezione dell'ultima relazione tra "educazione" e "consumo pro-capite di combustibile", che mostra un  $R^2$  pari a .063. Il coefficiente di determinazione conosciuto come  $R^2$  rappresenta la proporzione della varianza della variabile dipendente che può essere spiegato per mezzo della variabile indipendente e, sebbene nella fase preliminare vengono riportati alcuni valori non del tutto significativi (evidenziati in rosso nella Tabella 5.4), i risultati dell'analisi di mediazione determinano soddisfacenti rapporti di correlazione,  $R^2$  e coefficiente  $\beta$ . Sebbene alcuni valori del  $R^2$  evidenziati in rosso nella Tabella 5.4 dimostrino un primo rapporto tra le singole variabili non del tutto significativo, mostrano al contempo un coefficiente  $\beta$  molto forte. Questa caratteristica dimostra come le relazioni di causa ed effetto tra le diverse variabili siano rilevanti ai fini dell'analisi per dimostrare il peso dei coefficienti su misure di sviluppo sostenibile. Come stabilito da Hayes et al. 2010, l'analisi preliminare per verificare il rapporto effettivo tra le variabili causali non è obbligatoria, ma è consigliata per valutare la significatività della relazione tra i coefficienti.

#### *5.4.1 Modello 1*

Il primo modello analizzato grazie al programma SPSS e Process è rappresentato dalle seguenti variabili (Figura 5.8):

- variabile X: tipologia di combustibile utilizzato dal campione per il processo di generazione energetica a scopi domestici (USO\_mpCAL);
- variabile Y: emissioni totali di CO<sub>2</sub> rilasciate nell'atmosfera (CO2\_EMIS);
- variabile M<sub>1</sub>: tempo utilizzato per l'approvvigionamento delle materie prime espresso in ore settimanali (TEM\_SE);

- variabile  $M_2$ : livello di educazione posseduto dai soggetti intervistati (TITOLO).



**Figura 5.8 Diagramma concettuale del modello di mediazione multipla applicato nel caso studio (modello 1)**

Nel presente modello, i coefficienti relativi alle analisi di correlazione,  $R^2$  e coefficiente  $\beta$  presentano valori più significativi rispetto a quelli emersi dall'analisi preliminare. Nel modello vengono evidenziati i seguenti output:

1. la variabile X (USO\_mpCA) che predice la variabile Y (CO2\_EMIS) nella relazione  $c$  è spiegata dal coefficiente F nell'intervallo (1÷74) che assume un valore pari a 36.65, con una significatività  $p$  diversa da 0 (0.2851), con un valore  $R^2$  pari a 0.3104. Inoltre il coefficiente di correlazione  $\beta$  che identifica la relazione tra la variabile X e Y è significativo e pari a 0.5748.
2. la variabile X (USO\_mpCA) che predice la variabile  $M_1$  (TEM\_SE) nella relazione  $a$  è spiegata dal coefficiente F nell'intervallo (1÷74) che assume un valore pari a 34.50, con una significatività  $p$  inferiore a 0.01 (0.000) e con un valore dell' $R^2$  pari a 0.3157. Il coefficiente di correlazione  $\beta$  che identifica la

relazione tra la variabile  $X$  e  $M_1$  è dunque significativo e pari a 0.3974. Per ciò che riguarda la variabile  $X$  che predice la variabile  $M_2$  (TITOLO) nella relazione  $a'$ , il rapporto è spiegato dal coefficiente  $F$  nell'intervallo (1÷74) che assume un valore pari a 6.42, con una significatività  $p$  inferiore a 0.01 (0.000) e con un valore dell' $R^2$  questa volta più basso e meno significativo, pari a 0.1197. Il coefficiente di correlazione  $\beta$  che identifica la relazione tra la variabile  $X$  e  $M_2$  è però significativo e risulta negativo, pari a -0.2986.

3. la variabile  $X$  (USO\_mpCA) che predice la variabile  $Y$  (CO2\_EMIS) nella relazione  $b$  è spiegata dal coefficiente  $F$  nell'intervallo (3÷72) che assume un valore pari a 18.16, con una significatività  $p$  inferiore a 0.1 (0.000) e con un valore dell' $R^2$  pari a 0.3341. In questo caso la variabile  $M_1$  assume i seguenti valori: il coefficiente  $\beta$  è pari a -0.1902, con una significatività  $p$  inferiore a 0.001; la variabile  $M_2$  invece presenta un coefficiente  $\beta$  pari a 0.0963, anch'esso con una significatività  $p$  inferiore a 0.001.
4. Il Sobel test è stato calcolato per definire la relazione tra i coefficienti  $c-c'$  e verificare se il rapporto tra le relazioni di causalità delle variabili fosse significativamente diversa da 0. Per entrambi i mediatori  $M_1$  (TEM\_SE) e  $M_2$  (TITOLO) il Sobel test è risultato significativo, con valori rispettivamente pari a 1.0592 e 1.1873, con valori di  $p$  inferiori a 0.05

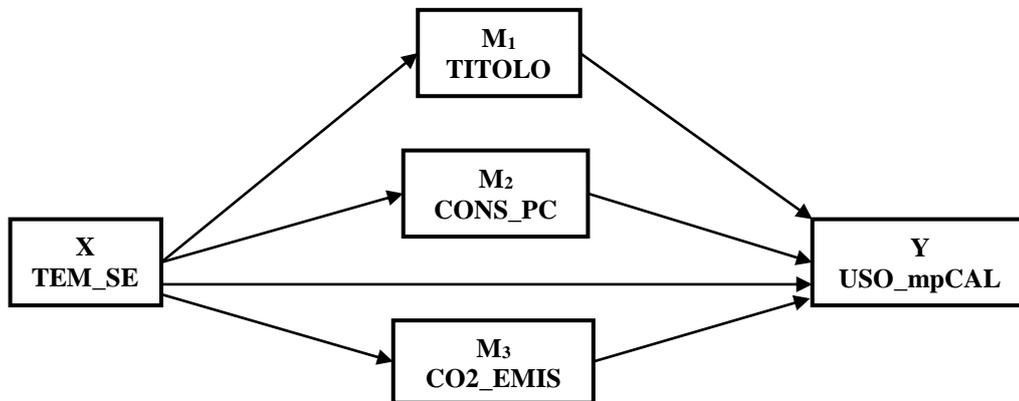
Pertanto il primo modello analizzato dimostra che vi è una effettiva relazione di causalità tra le variabili incluse nel sistema, avvalorando la tesi che la tipologia di combustibile utilizzato dal campione sottoposto al questionario è ovviamente correlato alle emissioni rilasciate nell'ambiente naturale, ma le variabili mediatrici  $M_1$  (TEM\_SE) e  $M_2$  (TITOLO) hanno un effetto sulle emissioni totali nell'ambiente perché definiscono la scelta del combustibile

utilizzato. Pertanto, miglioramenti nel livello di istruzione della popolazione possono portare indirettamente a riduzione di CO<sub>2</sub> nell'ambiente.

#### 5.4.2 Modello 2

Il secondo modello analizzato grazie al programma SPSS e Process è rappresentato dalle seguenti variabili (Figura 5.9):

- variabile X: tempo utilizzato per l'approvvigionamento delle materie prime espresso in ore settimanali (TEM\_SE);
- variabile Y: tipologia di combustibile utilizzato dal campione per il processo di generazione energetica a scopi domestici (USO\_mpCAL);
- variabile M<sub>1</sub>: livello di educazione posseduto dai soggetti intervistati (TITOLO).
- variabile M<sub>2</sub>: consumo settimanale di combustibile espresso in kg e relativo alla composizione del nucleo familiare (CONS\_PC)
- variabile M<sub>3</sub>: emissioni totali di CO<sub>2</sub> rilasciate nell'atmosfera espresse in kg (CO2\_EMIS).



**Figura 5.9 Diagramma concettuale del modello di mediazione multipla applicato nel caso studio (modello 2)**

Nel presente modello, i coefficienti relativi alle analisi di correlazione e il coefficiente  $\beta$  presentano valori più significativi rispetto a quelli emersi dall'analisi preliminare, mentre i valori relativi all' $R^2$  sono simili a quelli riportati in Tabella 5.4. Nel modello vengono evidenziati i seguenti output:

1. la variabile X (TEM\_SE) che predice la variabile Y (CO2\_EMIS) nella relazione  $c$  è spiegata dal coefficiente F nell'intervallo (1÷74) che assume un valore pari a 21.66, con una significatività  $p$  diversa da 0 (0.3108), con un valore  $R^2$  pari a 0.3157. Inoltre il coefficiente di correlazione  $\beta$  che identifica la relazione tra la variabile X e Y è significativo e pari a 0.7944.
2. la variabile X (TEM\_SE) che predice la variabile M<sub>1</sub> (TITOLO) nella relazione  $a$  è spiegata dal coefficiente F nell'intervallo (1÷74) che assume un valore pari a 17.13, con una significatività  $p$  inferiore a 0.01 (0.000), con un valore  $R^2$  relativamente basso, pari a 0.2449. Il coefficiente di correlazione  $\beta$  che

identifica la relazione tra la variabile X e  $M_1$  è comunque significativo e negativo, pari a -0.6041. Per ciò che riguarda la variabile X che predice la variabile  $M_2$  (CONS\_PC) nella relazione  $a'$ , il rapporto evidenziato è meno significativo, il coefficiente F nell'intervallo (1÷74) assume un valore pari a 10.71, con una significatività  $p$  inferiore a 0.01 (0.002) e con un valore dell' $R^2$  questa volta più basso e meno significativo, pari a 0.0980. Il coefficiente di correlazione  $\beta$  che identifica la relazione tra la variabile X e  $M_2$  è però rilevante, pari a 8.1160. Infine, la variabile X che predice la variabile  $M_3$  (CO2\_EMIS) nella relazione  $a''$  presenta un valore dell' $R^2$  molto debole, pari a 0.0398, e un valore F nell'intervallo (1÷74) ovviamente inferiore (4.52). Questa relazione non è significativa, anche se presenta un coefficiente  $\beta$  diverso da 0 (0.2911).

3. la variabile X (TEM\_SE) che predice la variabile Y (USO\_mpCAL) nella relazione  $b$  è spiegata dal coefficiente F nell'intervallo (4÷71) che assume un valore pari a 10.37, con una significatività  $p$  inferiore a 0.1 (0.000) e con un valore dell' $R^2$  pari a .5295. In questo caso la variabile  $M_1$  (TITOLO) assume i seguenti valori: il coefficiente  $\beta$  è pari a -0.1156, con una significatività  $p$  inferiore a .001; la variabile  $M_2$  (CONS\_PC) invece presenta un coefficiente  $\beta$  molto vicino allo 0 che assume valore pari a 0.0043. La significatività della presente variabile non è efficiente, riportando un valore di  $p$  uguale a 0.0448. Infine la variabile  $M_3$  (CO2\_EMIS) presenta un coefficiente  $\beta$  pari a 0.4508, con una significatività  $p$  inferiore a 0.001.
4. Il Sobel test è stato calcolato per definire il rapporto tra i coefficienti  $c-c'$  e verificare se la relazione fosse diversa da 0. La variabile  $M_3$  (CO2\_EMIS) ha riportato il valore più significativo, pari a 1.6359, con  $p$  inferiore a 0.05, mentre le variabili  $M_1$  (TITOLO) e  $M_2$  (CONS\_PC) presentano valori leggermente

inferiori pari rispettivamente a 0.9911 e 0.9563, con valori di p entrambi inferiori a 0.05

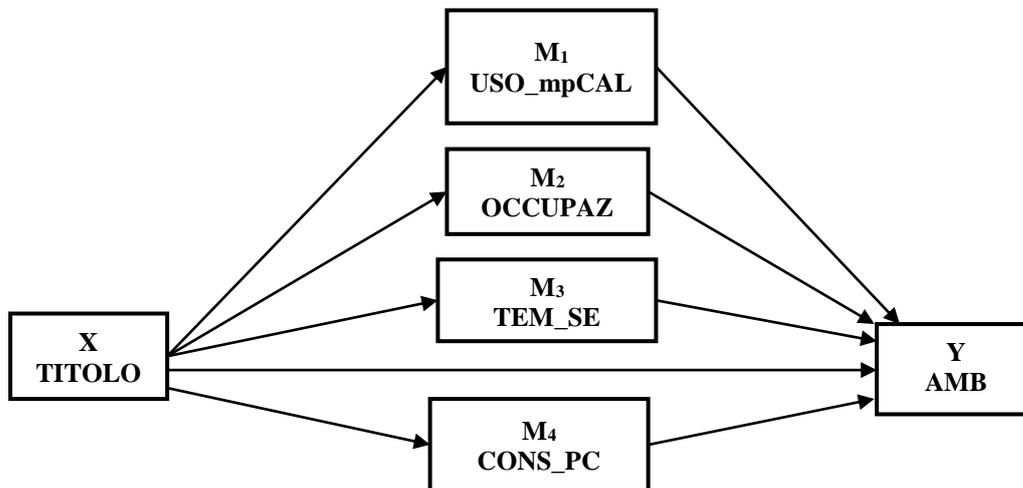
Il modello di mediazione sopra studiato dimostra la relazione di causalità che vi è tra il tempo speso per l'approvvigionamento delle materie prime e la tipologia di combustibile utilizzato, mediata dalle variabili educazione, consumo pro-capite e emissioni di CO<sub>2</sub>. La variabile M<sub>1</sub> presenta valori migliori, spiegando la forza della relazione di causalità tra le variabili attraverso l'effetto indiretto di essa sull'utilizzo della tipologia di combustibile. Per quanto riguarda l'effetto del mediatore M<sub>3</sub>, questo presenta valori più deboli e meno significativi, andando a dimostrare che la scelta della tipologia di combustibile non è effettivamente mediata dai valori delle emissioni di CO<sub>2</sub> rilasciati nell'atmosfera. Infatti il campione analizzato generalmente non risulta consapevole degli effetti del processo di trasformazione delle materie prime energetiche sulla qualità dell'ambiente, ad eccezione degli individui che possiedono un livello di educazione più elevato, andando a rafforzare dunque la significatività della variabile educazione nel modello di mediazione analizzato. Dunque, la educazione determina la tipologia di combustibile utilizzato dal campione, in relazione anche alle emissioni di CO<sub>2</sub> rilasciate nell'ambiente e alla variabile tempo, che definisce le ore settimanali dedicate all'approvvigionamento delle materie prime energetiche.

### *5.4.3 Modello 3*

Il terzo modello analizzato grazie al programma SPSS e Process è rappresentato dalle seguenti variabili (Figura 5.10):

- variabile X: livello di educazione posseduto dai soggetti intervistati (TITOLO);
- variabile Y: attenzione all'ambiente manifestata dal campione intervistato (AMB);

- variabile  $M_1$ : tipologia di combustibile utilizzato dal campione per il processo di generazione energetica a scopi domestici (USO\_mpCAL);
- variabile  $M_2$ : categoria occupazionale manifestata dal campione (OCCUPAZ);
- variabile  $M_3$ : tempo utilizzato per l'approvvigionamento delle materie prime espresso in ore settimanali (TEM\_SE);
- variabile  $M_4$ : consumo settimanale di combustibile espresso in kg e relativo alla composizione del nucleo familiare (CONS\_PC).



**Figura 5.10 Diagramma concettuale del modello di mediazione multipla applicato nel caso studio (modello 3)**

Nel presente modello, i coefficienti relativi alle analisi di correlazione e il coefficiente  $\beta$  presentano valori più significativi rispetto a quelli emersi dall'analisi preliminare, mentre i valori relativi all' $R^2$  sono simili a quelli riportati in Tabella 5.4. Nel modello vengono evidenziati i seguenti output:

1. la variabile X (TITOLO) che predice la variabile Y (AMB) nella relazione  $c$  è spiegata dal coefficiente F nell'intervallo (1÷74) che assume un valore pari a 4.34, con una significatività  $p$  diversa da 0 (.4007), con un valore  $R^2$  pari a 0.4670. Inoltre il coefficiente di correlazione  $\beta$  che identifica la relazione tra la variabile X e Y è significativo e pari a 0.1442.
2. la variabile X (TITOLO) che predice la variabile  $M_1$  (USO\_mpCAL) nella relazione  $a$  è spiegata dal coefficiente F nell'intervallo (1,74) che assume un valore pari a 7.86, con una significatività  $p$  inferiore a 0.01 (0.006), con un valore  $R^2$  pari a 0.3459. Il coefficiente di correlazione  $\beta$  che identifica la relazione tra la variabile X e  $M_1$  è comunque significativo e negativo, pari a -0.4007. Per ciò che riguarda la variabile X che predice la variabile  $M_2$  (OCCUPAZ) nella relazione  $a'$ , il rapporto evidenziato è meno significativo, il coefficiente F nell'intervallo (1,74) assume un valore pari a 8.46, con una significatività  $p$  inferiore a 0.01 (0.004) e con un valore dell' $R^2$  questa volta più basso e meno significativo, pari a 0.1119. Il coefficiente di correlazione  $\beta$  che identifica la relazione tra la variabile X e  $M_2$  è però rilevante, pari a 0.3582. Per ciò che concerne la variabile X che predice la variabile  $M_3$  (CONS\_PC) nella relazione  $a''$  presenta un valore dell' $R^2$  molto debole, pari a 0.0633, e un valore F nell'intervallo (1÷74) ovviamente inferiore (6.13). Questa relazione non è significativa, anche se presenta un coefficiente  $\beta$  negativo e diverso da 0 (-5.3470). Infine, la variabile X che predice la variabile  $M_4$  (TEM\_SE) nella relazione  $a'''$  presenta un valore dell' $R^2$  efficace, pari a 0.2449, e un valore F nell'intervallo (1,74) pari a 18.07. il coefficiente  $\beta$  è significativo e negativo, pari a -0.4054.

3. la variabile X (TITOLO) che predice la variabile Y (AMB) nella relazione  $b$  è spiegata dal coefficiente F nell'intervallo (5,70) che assume un valore pari a 7.65, con una significatività  $p$  diversa da 0 (0.6327) e con un valore dell' $R^2$  pari a .4527. Per ciò che concerne la significatività delle variabili mediatrici  $M_1$ ,  $M_2$ , e  $M_4$ , presentato tutte una significatività  $p$  inferiore a 0.01. Nello specifico i coefficienti  $\beta$  assumono i seguenti valori:  $M_1$  (USO\_mpCAL) 0.0389;  $M_2$  (OCCUPAZ) -0.0668;  $M_4$  (TEM\_SE) -0.3655. La variabile  $M_3$  (CONS\_PC) non è significativa poiché presenta un valore  $p$  superiore a 0.01, confermato dal coefficiente  $\beta$  molto basso (.0041).
4. Il Sobel test è stato calcolato per definire il rapporto tra i coefficienti  $c-c'$  e verificare se la relazione generata dalle variabili del sistema fosse effettivamente diversa da 0. La variabile  $M_4$  (TEM\_SE) ha riportato il valore più significativo, pari a 2.8479, con  $p$  inferiore a 0.05, mentre le variabili  $M_1$  (USO\_mpCAL),  $M_2$  (OCCUPAZ), e  $M_3$  (CONS\_PC) presentano valori non del tutto significativi, ma comunque diversi da 0, rispettivamente uguali a 0.4390, -0.9307 e 0.8386.

Il modello dimostra dunque la relazione di causalità tra il livello di educazione posseduto dal campione intervistato e l'attenzione alla salute dell'ambiente naturale, con il mediatore tempo settimanale dedicato all'approvvigionamento di risorse che meglio spiega la relazione. Infatti, gli individui che tengono in considerazione la salute dell'ambiente nelle scelte relative al consumo di materie prime energetiche sono rappresentati da coloro che dedicano un quantitativo di ore inferiore alla ricerca del combustibile energetico. Pertanto, aumentando i livelli di educazione nella popolazione, si andrebbe a ridurre il tempo dedicato all'approvvigionamento di materie prime energetiche, migliorando da un lato la qualità della vita ed il benessere della popolazione e dall'altro la qualità dell'ambiente naturale.

### **5.3 Risultati ottenuti**

Il modello qualitativo DSPIR e il modello quantitativo della mediation analysis hanno permesso di definire gli aspetti relativi alle problematiche ambientali e sociali legate all'utilizzo delle materie prime energetiche nel processo di combustione nell'area rurale del distretto di Machakos. I risultati rilevati dal questionario e riportati nei modelli statistici di mediazione hanno messo in evidenza le relazioni tra la scelta della tipologia del combustibile con variabili qualitative (istruzione, occupazione, attenzione per l'ambiente) e quantitative (consumo pro-capite di materie prime energetiche, quantitativo di emissioni climalteranti) con l'obiettivo di comprendere gli ambiti per poter attuare misure ed azioni efficaci per poter risolvere il problema dell'accesso all'energia e del depauperamento delle risorse naturali. Il quantitativo di emissioni settimanali rilasciate nell'ambiente durante il processo di combustione è stato riportato nel questionario sotto forma di emissioni di CO<sub>2</sub> e calcolato nell'arco di tempo stimato di una settimana.

Al fine di poter comprendere in maniera più specifica l'ammontare di emissioni generate dai processi di combustione ed i loro effetti sulla salute umana e sull'ambiente naturale si è proceduto alla stima dei consumi per tipologia di combustibili secondo l'intervallo di tempo di un anno, ipotizzando che le scelte delle materie prime energetiche nella popolazione rurale di Iiani restino invariate per l'arco di tempo considerato. Così, sulla base dei dati contenuti nel questionario sono stati effettuati dei calcoli col fine di poter investigare in modo ancor più significativo sull'effettivo rilascio di sostanze nocive durante la conversione energetica secondo la tipologia di combustibile utilizzato. Sulla base della metodologia dell'LCA si è utilizzato un programma di calcolo (SIMAPRO 7.1) grazie al quale è stato possibile convertire gli input del sistema economico in output quantitativi.

Con tale sistema vengono stimate le pressioni delle variabili che compongono la funzione dei consumi sull'ambiente esterno, secondo alcuni indicatori sensibili. Tali indicatori sono definiti secondo calcoli sistematici relativi ai processi di produzione, trasformazione, eventuale trasporto e conversione energetica categorizzati per materia prima e riportati in un database. Ai fini della valutazione relativa agli impatti sull'ambiente naturale del campione analizzato (popolazione dell'area rurale di Iiani) è stato utilizzato il database ReCiPe 1.07, il quale organizza i risultati delle analisi di valutazione secondo alcuni dei 137 indicatori raggruppati nelle 13 categorie ambientali approvati e categorizzati dall'Agenzia Europea per l'Ambiente.

Questi indici vengono misurati secondo tre classi:

- **l'impatto economico** espresso in *US\$* che permette di stimare i danni all'ambiente relativi al depauperamento delle risorse naturali;
- **l'impatto sociale** espresso secondo l'indicatore epidemiologico *DALY* (Disability-adjusted life year), il quale permette di stimare il numero di anni di vita persi dalla popolazione a causa di malattie, disabilità o morte prematura;
- **l'impatto ambientale** espresso secondo l'indicatore *SPECIES.YR* (species-years), che permette di misurare il tasso di estinzione per milioni di specie su un intervallo definito di tempo (un anno).

Il raggruppamento degli indicatori secondo queste tre categorie utilizzate dal sistema di calcolo secondo il database ReCiPe 1.07 è riportato nella Tabella 5.5. Secondo tale distinzione vengono stimati gli effetti negativi che derivano dal processo di conversione energetica secondo la tipologia di combustibile impiegata (legno, carbone, LPG e residui agro-alimentari) e secondo il metodo impiegato per tale generazione.

**Tabella 5.5** Categorie di impatto definite nel sistema ReCiPe 1.7

Unità	Categoria d'impatto
species.yr	Natural land transformation
	Urban land occupation
	Agricultural land occupation
	Marine ecotoxicity
	Freshwater ecotoxicity
	Terrestrial ecotoxicity
	Freshwater eutrophication
	Terrestrial acidification
	Climate change Ecosystems
DALY	Ionising radiation
	Particulate matter formation
	Photochemical oxidant formation
	Human toxicity
	Ozone depletion
US\$	Climate change Human Health
	Fossil depletion
	Metal depletion

Le analisi per derivare gli impatti sulla qualità dell'ambiente sono state effettuate prendendo in considerazione la domanda di combustibili della popolazione rurale di Iiani per tipologia (carbone, legna, LPG e residui agro-alimentari) e nel periodo stimato di un anno.

Dalle analisi di calcolo emerge il carbone come combustibile più impattante sia per l'ecosistema che per la salute umana, con indici quali *climate change* (human – ecosystem), *particulate matter formation* e *human toxicity* tra i più significativi. Al secondo posto si classifica il legno, seguito dall'LPG ed infine troviamo le biomasse di origine vegetale e alimentare. L'interfaccia elaborata dal programma con gli indici percentuali per categoria di indicatore e combustibile è riportata in Figura 5.11, mentre in Figura 5.12 vengono evidenziati gli indicatori più significativi.

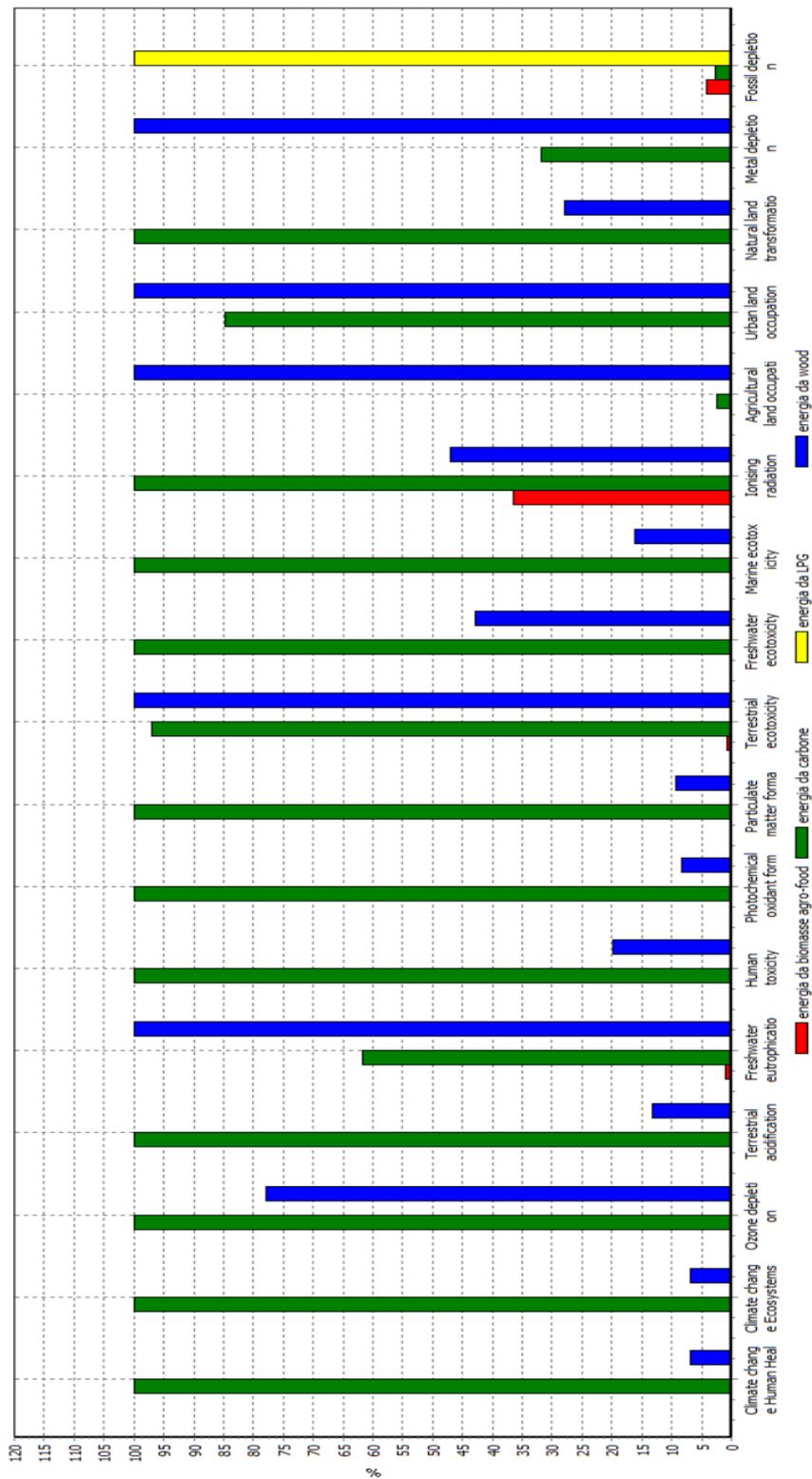
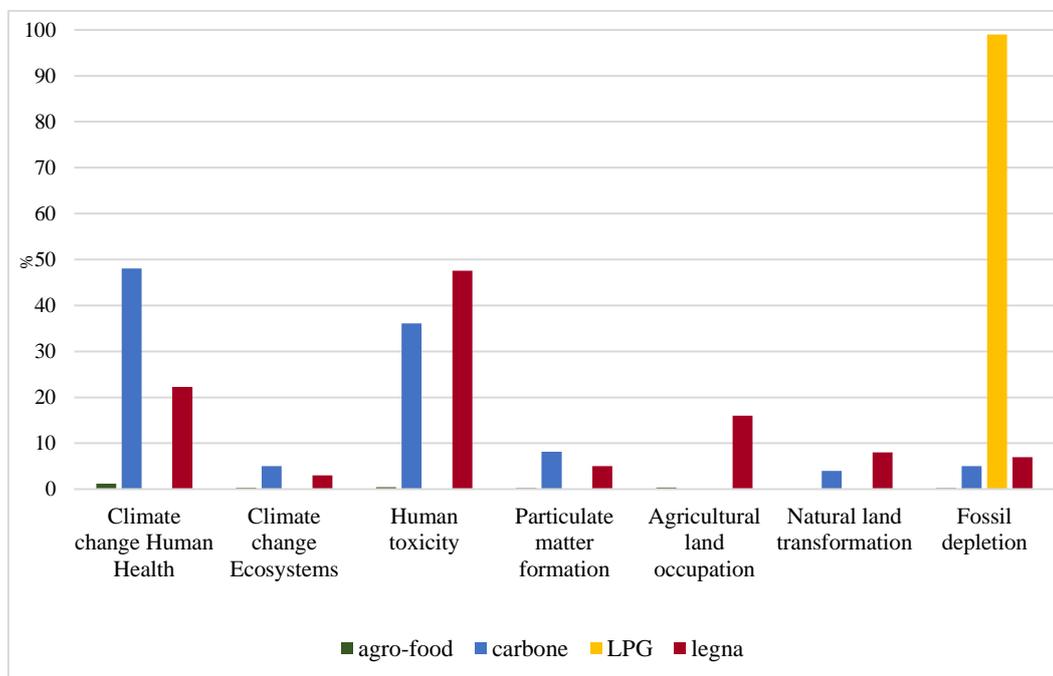


Figura 5.11 Elaborazione dati in indici di impatto ambientale, sociale ed economico elaborati da Simapro (stime percentuali %).

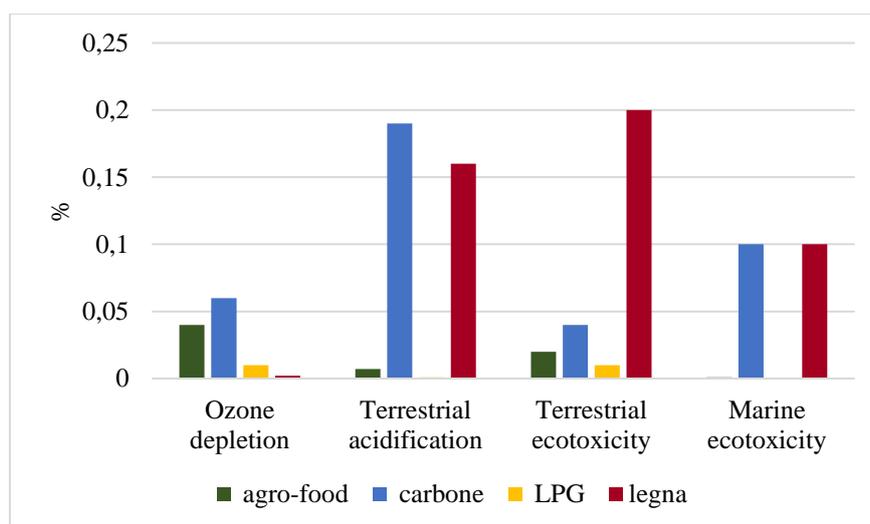
Dunque i dati emersi dal sistema di calcolo delle emissioni e rilascio di sostanze pericolose nell'ambiente confermano che esiste un effettivo problema legato all'impiego del combustibile di origine legnosa per la popolazione e che, nel confronto, la categoria delle biomasse agro-alimentari si posiziona come materia prima meno impattante secondo gli indicatori categorici.

I residui agro-alimentari inseriti nel sistema di calcolo sono riferiti al processo di combustione, e già da questa prima analisi gli impatti nell'ambiente risultano comunque ridotti. Nelle figure 5.12 e 5.13 sono riportati i valori percentuali dei singoli indicatori di sistema riferiti alle materie prime energetiche. I dati sono stati elaborati in valori percentuali e suddivisi in due differenti rappresentazione per poter comunicare in maniera più efficace i valori emersi dalle analisi. Gli indicatori che presentano i valori più elevati sono quelli riferiti al *Climate Change (Human health e Ecosystems)*, per ciò che riguarda il legno e il carbone, (rispettivamente con valori di 48% e 5% per il carbone e 22% e 49% per il legno). Anche l'indice di *Human toxicity* per legno e carbone riporta risultati significativi (rispettivamente 36% e 47%), proprio a causa del processo di combustione ed il suo effetto in riferimento alla salute umana. Questo indicatore insieme all'indicatore di *Particulate matter formation* che registra valori per carbone e legna pari a 8% e 4%, confermano i risultati della letteratura scientifica riguardo questo particolare fenomeno (Ezzati et al., 2001; Smith et al., 2000; Bailis et al., 2005; Yamamoto et al., 2009). Gli indicatori relativi al suolo (*Agricultural land occupation e Natural land trasformation*) mettono in evidenza la problematica ambientale riferita al fenomeno della deforestazione ed al depauperamento delle risorse naturali per ciò che riguarda l'impiego di legna e carbone (rispettivamente con un indice del 4% e dell'8%). Infine il valore più elevato per il combustibile fossile LPG è registrato per l'indicatore *Fossil depletion*, espresso in US\$ e riferito all'impatto ambientale derivante dalle attività di

estrazione che determinano l'esaurimento delle risorse naturali di origine vegetale e fossile (con un valore del 99%).



**Figura 5.12** Elaborazione dati secondo gli indici di impatto ambientale, sociale ed economico più significativi (%).



**Figura 5.13** Elaborazione dati secondo gli indici di impatto ambientale, sociale ed economico più significativi (%).

Gli indicatori che riportano valori meno elevati nella valutazione dell'impatto ambientale sono raffigurati nella Figura 5.13, dove vengono espressi gli indici percentuali in un intervallo di riferimento che va da 0 a 0.25%. Dunque, sebbene tali valori siano relativamente bassi, ancora una volta legno e carbone riportano i risultati più impattanti, andando a confermare la pericolosità dell'impiego di tali materie prime per la dell'ecosistema, con *Terrestrial acidification* e *Terrestrial ecotoxicity* che presentano gli effetti più allarmanti.

I risultati normalizzati calcolati dal sistema Simapro 7.1 sono stati riportati nella Tabella 5.6. Come si evince dalla Tabella 5.6, i valori degli indicatori sono relativamente bassi e la causa è da ricercare nelle problematiche di accesso energetico che presenta il caso studio preso in esame. Infatti, la domanda energetica nell'area di Iiani è stata considerata in media pari a 130 MWh pro-capite per nucleo familiare in un periodo di tempo di un anno. Dunque, poiché i risultati emersi dallo studio sono riferiti esclusivamente al campione analizzato della popolazione di Iiani, distretto di Machacos, qualora il medesimo approccio venisse applicato alla domanda energetica media delle aree rurali del Kenya, sicuramente risultati più significativi risulterebbero in relazione esistente tra le emissioni nell'ambiente naturale ed il consumo di materie prime di origine vegetale ad esse associato.

Pertanto, i valori degli indicatori riportati in Tabella 5.6 rappresentano solo una piccola parte dell'impatto del consumo delle biomasse di origine legnosa nelle aree rurali dei Paesi in via di sviluppo, in riferimento alle popolazioni che ne fanno uso, ricordando che il totale della popolazione mondiale che basa la domanda energetica su questa materia prima è pari a 2,5 miliardi di persone, con un risultato ovviamente negativo sull'ammontare delle risorse naturali e sulla qualità dell'ambiente naturale.

**Tabella 5.6** valutazione dell’impatto ambientale secondo le categorie di impatto per materia prima energetica (carbone, legna, residui agro-alimentari e LPG).

<b>Categoria d'impatto</b>	<b>Legna</b>	<b>Carbone</b>	<b>LPG</b>	<b>Agro-food</b>
<b>Climate change Human Health</b>	<i>0.8803281</i>	<i>12.662889</i>	0.0000021	0.00301229
<b>Climate change Ecosystems</b>	<i>0.045213492</i>	<i>0.65037153</i>	0.00002	0.0001547
Ozone depletion	0.000115596	0.000148566	0	2.02E-07
Terrestrial acidification	0.000389725	0.002956838	0	2.06E-06
Freshwater eutrophication	1.06E-05	6.54E-06	0	1.08E-07
<b>Human toxicity</b>	<i>1.8829609</i>	<i>9.5173208</i>	0	0.00108648
Photochemical oxidant formation	5.75E-05	0.000693409	0	1.15E-07
<b>Particulate matter formation</b>	<i>0.1974313</i>	<i>2.1457158</i>	0	0.00059526
Terrestrial ecotoxicity	0.005809318	0.005636838	0	3.96E-05
Freshwater ecotoxicity	1.45E-05	3.38E-05	0	1.20E-07
Marine ecotoxicity	0.002488434	0.015497038	0	2.11E-06
Ionising radiation	0.000573744	0.001221872	0	0.00044575
Agricultural land occupation	0.38034922	0.009181314	0	0.00052466
Urban land occupation	0.007069959	0.005986272	5.11E-07	8.37E-06
<b>Natural land transformation</b>	<i>0.41876855</i>	<i>0.42583256</i>	0	6.27E-06
Metal depletion	0.09062067	0.028867916	0	1.72E-06
<b>Fossil depletion</b>	0.002181289	0.2328275	<i>8.6713702</i>	0.36752278

L’impatto dei residui agricoli ed alimentari è la categoria che riporta valori medi degli indicatori più bassi. In questo modo, la rivalutazione delle biomasse di origine vegetale permette di migliorare indirettamente le condizioni di salute delle popolazioni rurali, come confermato dal basso impatto di questa materia nel processo di generazione energetica. Pertanto, il sistema di biodigestione di tipo flessibile concorre all’attuazione del paradigma di sostenibilità forte, migliorando le condizioni della popolazione rurale sotto l’aspetto economico (riducendo la spesa in acquisto di materie prime energetiche), sociale (migliorando le condizioni di salute, l’educazione e la qualità della vita della popolazione rurale) ed ambientale (diminuendo l’immissione di sostanze pericolose nell’ambiente naturale).

Considerando le fasi di generazione energetica relative al sistema di biodigestione flessibile, tali impatti risulterebbero addirittura inferiori rispetto a quelli emersi dal sistema di conversione e relativi al processo di combustione.

Pertanto, l'innovazione del sistema di biodigestione flessibile viene considerata una soluzione tangibile per migliorare l'accesso all'energia utilizzata a scopi domestici, andando a determinare effetti positivi sull'ambiente e sulla salute della popolazione, con l'obiettivo di accompagnare la sostituzione delle biomasse tradizionali quali legno e carbone tra quelle di maggiore utilizzo per le popolazioni rurali dei Paesi in via di sviluppo, come confermato dall'indagine conoscitiva attuata sul campione preso in esame.

## Conclusioni

Il sistema innovativo flessibile che processa i residui agro-alimentari per mezzo di una tecnologia semplice e a rapida diffusione rappresenta una tipologia di biodigestore che facilita l'accesso a sistemi più efficienti di generazione energetica anche in quei Paesi in cui si registrano situazioni di mancato accesso al mercato energetico. Questa tecnologia si inserisce in un meccanismo di sviluppo sostenibile legato all'approccio della sostenibilità forte, andando ad incrementare il livello di crescita della società secondo le quattro dimensioni su cui si basa il paradigma dello sviluppo sostenibile. Considerando le stime dell'IEA, nel 2030 il numero di individui a livello globale che utilizzano le biomasse di origine legnosa (legno e carbone) come fonte primaria per la generazione energetica saranno pari a 2.7 miliardi, corrispondenti circa a un terzo della popolazione mondiale ancora legata all'utilizzo di questa tipologia di biomasse. Per permettere la sostituzione di tali combustibili, i sistemi innovativi di tipo flessibile possono rappresentare una soluzione tangibile per le popolazioni distribuite nelle aree rurali. Infatti, lo studio presentato effettuato sulla popolazione rurale del Kenya (Iiani, distretto di Machakos) ha per messo di valutare secondo metodi qualitativi e quantitativi i benefici della sostituzione delle biomasse di origine vegetale con materie prime seconde, analizzando gli impatti sull'ambiente ed i corrispettivi benefici indiretti sulla società. Dunque il modello DSPIR ed il metodolo della mediation analysis hanno dimostrato la correlazione attribuita all'utilizzo dei differenti combustibili con aspetti importanti relativi agli indici di sviluppo della popolazione, identificati secondo i metodi oggettivi riferiti alla qualità della vita ed al benessere della popolazione. Studiando i rapporti tra la tipologia di combustibile utilizzato dagli individui della popolazione rurale del Kenya con aspetti relativi a variabili quali educazione e

occupazione è stato possibile comprendere gli effetti relativi ai danni ambientali e le problematiche riconducibili ai bassi livelli di sviluppo della popolazione. Infatti i modelli studiati grazie alla mediation analysis hanno dimostrato come l'utilizzo delle fonti energetiche quali legno e carbone pregiudichino il livello di istruzione della popolazione, a causa della variabile tempo che è legata all'approvvigionamento della materia prima energetica. Lo studio del campione analizzato ha permesso di comprendere come i combustibili di origine vegetale maggiormente impiegati dalla popolazione siano la causa diretta non soltanto di elevati livelli di emissioni che compromettono la salute dell'ambiente naturale relativa all'indice di emissioni, biodiversità e depauperamento delle risorse naturali, ma anche di problematiche relative alla salute degli utilizzatori di queste materie prime e di effetti che pregiudicano la variabile relativa ai livelli di istruzione della popolazione. L'elevato ammontare di *tempo* necessario all'approvvigionamento delle materie prime energetiche, insieme alla grande percentuale della popolazione inattiva, prevalentemente composta da donne che si dedicano alle mansioni domestiche, rappresentano gli aspetti principali che pregiudicano la crescita sostenibile delle popolazioni distribuite nelle aree rurali. Così, facilitando e promuovendo la sostituzione delle materie prime di origine legnosa con sistemi tecnologici che processino i residui agricoli ed alimentari, come il sistema flessibile, è possibile migliorare l'accesso all'energia delle popolazioni rurali, così da incrementare anche i livelli di sviluppo della popolazione.

Poiché a differenza delle misure di crescita economica riferite esclusivamente all'incremento nel tempo del prodotto nazionale reale pro-capite, il concetto di sviluppo sostenibile considera anche le finalità sociali come risultato da raggiungere nella crescita, attuando misure di giustizia redistributiva e di equità intergenerazionale. In questo specifico momento storico, intraprendere un percorso di crescita che rispetti

anche l'ecosistema circostante è decisamente auspicabile, non soltanto per la salvaguardia delle risorse naturali, ma soprattutto per investire nell'ambito dell'innovazione tecnologica; tale investimento permetterà il raggiungimento di un modello economico virtuoso, che possa sostituirsi a quello che ha caratterizzato la crescita del secolo precedente. Attraverso investimenti in ricerca e sviluppo sarà possibile migliorare l'efficienza del sistema produttivo e sarà possibile usufruire di nuovi processi che permettano di definire un percorso economico, sociale e di crescita improntati sulla sostenibilità ambientale, definita come il rapporto tra la dimensione sociale, ambientale ed economica.

L'uso della biomassa tradizionale rimarrà importante nel prossimo futuro, ma sarà fondamentale guidare la sostituzione dei combustibili per poter migliorare l'efficienza energetica ed al contempo ridurre gli impatti negativi sull'ambiente naturale e sulla salute umana. Moderni sistemi come quello del biodigestore di tipo flessibile saranno indispensabili per costituire nuove reti per migliorare l'accesso energetico nelle aree rurali del pianeta e poter permettere alle popolazioni di raggiungere livelli di qualità della vita superiori. L'innovazione tecnologica attuata dalle moderne fonti di bioenergia come il biogas permettono di conseguire tali risultati di crescita sostenibile, accrescendo l'accesso all'elettricità nelle comunità rurali che indirettamente portano ad un miglioramento dei livelli di efficienza energetica ed indirettamente contribuiscono ad aumentare i livelli di educazione della popolazione. Grazie all'installazione del sistema di biodigestione di tipo flessibile brevettato dall'impresa keniana BIL, è possibile implementare il modello di sostenibilità forte secondo le quattro dimensioni dello sviluppo sostenibile:

1. la sostenibilità nella dimensione economica è rappresentata dalla riduzione della spesa in materie prime energetiche e indirettamente nella diminuzione espressa in termini monetari dello stock di risorse naturali energetiche;

2. la dimensione ambientale è rappresentata dalla diminuzione delle emissioni rilasciate nell'ambiente naturale durante il processo di combustione e dalla rivalutazione degli scarti agro-alimentari come materia prima seconda. La riduzione delle emissioni ha inoltre un effetto diretto sul miglioramento delle condizioni di salute della popolazione;
3. la dimensione sociale è rappresentata dal miglioramento della qualità della vita della popolazione espressa in riduzione del tempo necessario alle attività di approvvigionamento energetico. Questo aspetto determina anche un miglioramento dei livelli di istruzione della popolazione;
4. la dimensione istituzionale è rappresentata da meccanismi di promozione e sistemi di sussidi che permettono alla popolazione di ottenere assistenza nel processo di installazione del sistema flessibile di biodigestione.

La rivalutazione degli scarti agroalimentari nel sistema innovativo di tipo flessibile permette così alla popolazione di accedere a sistemi di generazione energetica meno impattanti per l'ambiente e per la salute umana, migliorando le condizioni di sviluppo della popolazione grazie anche alla riduzione delle emissioni climalteranti. Infatti, sebbene il presente modello sia stato applicato su una popolazione rurale relativamente piccola, il campione risulta rappresentativa in termini di domanda energetica e domanda di materie prime energetiche, così da poter applicare la metodologia qualitativa e quantitativa per comprendere gli impatti ambientali legati all'accesso all'energia nelle popolazioni distribuite nelle aree rurali del mondo. Il presente sistema se applicato a tutte le popolazioni rurali delle economie in fase di sviluppo dimostrerebbe i vantaggi della sostituzione delle materie prime energetiche di origine vegetale quali legna e carbone con materie prime seconde quali residui agricoli ed alimentari, apportando miglioramenti riguardo all'ambiente naturale, con un ridotto quantitativo di emissioni

rilasciate nell'atmosfera. Significativi benefici verrebbero registrati anche sulla salute umana e sulla componente relativa all'educazione della popolazione. Le emissioni giornaliere di CO<sub>2</sub> relative al processo di combustione della biomassa legnosa calcolate sul campione analizzato sono pari a circa 702 kg/giorno. In un anno la popolazione rurale di Iiani contribuisce all'immissione nell'atmosfera di circa 256.230 kg di CO<sub>2</sub>, emissioni che potrebbero essere evitate grazie all'installazione del sistema di biodigestione di tipo flessibile.

Dunque, una maggiore efficienza energetica del processo di biodigestione, il contenuto costo di installazione e l'effettivo beneficio ambientale espresso secondo gli indicatori ambientali sono le variabili che definiscono il sistema di tipo flessibile la soluzione tangibile per migliorare le condizioni di efficienza del processo di conversione energetica e per permettere una gestione più sostenibile delle risorse naturali, andando a migliorare l'accesso alla rete elettrica delle popolazioni distribuite nelle aree rurali.

Infine, il sistema di tipo flessibile permette di contribuire alla formazione di manodopera specializzata relativa ai metodi di installazione del dispositivo flessibile, che può incidere positivamente sui livelli di occupazione e impiego grazie alla diffusione di impianti a biogas flessibili. L'efficienza del sistema di biodigestione flessibile determina quindi una riduzione dei tempi per l'approvvigionamento delle materie prime energetiche, la quale determina sia un effetto positivo sull'educazione sia un effetto positivo sull'occupazione, grazie alla possibilità di impiegare il tempo prima speso per le attività di approvvigionamento per altre attività formative o retributive.

## **BIBLIOGRAFIA**

Abdelgalil, E. A. (2004). Deforestation in the drylands of Africa: Quantitative modeling approach. *Journal of Environmental Development and Sustainability* 6, 473–486.

Achudume A. C. (2009). Environmental health, development and economic empowerment of rural women in Nigeria. *Journal of Environmental Development Sustainability* 11, 459–469.

Adams, A. (2001). *Adams green development: environment and sustainability in the third world* (2nd ed.). Routledge Press, 364–382.

Adger, W.N. (2003). Social capital, collective action, and adaptation to climate change. *Journal of Economic Geography* 79 (4), 387–404.

Afrane G., Ntiamoah A. (2011). Comparative Life Cycle Assessment of Charcoal, Biogas, and Liquefied Petroleum Gas as Cooking Fuels in Ghana. *Journal of Industrial Ecology* 539-549.

Afrane G., Ntiamoah A. (2012). Analysis of the life-cycle costs and environmental impacts of cooking fuels used in Ghana. *Journal of Applied Energy* 98, 301–306

Agenda 21, Rio de Janeiro 1992, capitolo 40.

Ahiataku-Togobo W. (2006). Comparative cost of energy for cooking in Ghana. UNDP/GoG household energy programme. Ministry of energy, Ghana.

Alakangas E., Heikkinen A., Lensu T., Vesterinen P. (2007). Biomass fuel trade in Europe summary report. VTT. Eubionet II project. VTT-R-03508–07. Jyväskylä, Finland.

Albalak R., Keeler G., Frisancho R., Haber M. (1999). Assessment of PM10 concentrations from domestic biomass fuel combustion in two rural Bolivian highland villages. *Journal of Environmental Sciences and Technology* 33, 2505-2509.

Alter, A. L., Balcetis, E. (2011). Fondness makes the distance grow shorter: desired locations seem closer because they seem more vivid. *Journal of Experimental Social Psychology* 47, 16-21.

Amacher G. S., Hyde W. F., Kanel K. R. (1999). Nepali fuel wood production and consumption: Regional and household distinctions, substitution and successful intervention. *Journal of Development Studies* 35(4), 138–163.

Annez, P. C., Buckley, R. (2009). Urbanization and growth: setting the context. In M. Spence, P. C. Annez, & R. M. Buckley (Eds.), *Urbanization and growth*. Commission on Growth and Development (pp. 1–45). Washington: The World Bank.

Bailis R., Ezzati M. e Kammen D. (2003). Greenhouse Gas Implications of Household Energy Technology in Kenya. *Journal of Environmental Sciences and Technology*, 37, 2051-2059.

Baiyegunhi L., Hassan B. (2014). Rural household fuel energy transition: Evidence from Giwa LGA Kaduna State, Nigeria. *Energy for Sustainable Development* 20, 30-35.

Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51, 1173-1182.

Beghin J., Dong F., Elobeid A., Fabiosa J., Fuller F. (2007). U.S and world agricultural outlook. Food and Agricultural Policy Research Institute. Iowa State University and University of Missouri-Columbia ISSN 1534-4533.

Berndes G., Hoogwijk M., van den Broek R. (2003). The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Journal of Biomass and Bioenergy* 25 (1), 1-28

Bollen K. A. (1989). *Structural equations with latent variables*. New York, John Wiley and Sons.

Brand F. (2009). Critical natural capital revisited: Ecological resilience and sustainable development. *Journal of Ecological Economics* 68, 605–612.

British Petroleum (BP) (2016). *Annual Report*. For a secure, affordable and sustainable energy future.

British Petroleum (BP) (2016). *Sustainability Report*. For a secure, affordable and sustainable energy future.

British Petroleum (BP) (2017). *BP Energy Outlook 2017 edition*.

British Petroleum (BP) (2017). *BP Statistical Review of World Energy June 2017*.

Brown G., Baer M. (2011). Location in negotiation: is there a home field advantage? *Organizational Behaviour and Human Decision Process* 114, 190-200.

Brown, V. J. (2006). Biogas: a bright idea for Africa. *Journal of Environmental Health Perspectives* 114 (5), 300-319.

- Burns, Heather L. (1980). Environmental impacts of increased fuelwood use. AIAA Paper, 251-266.
- Buysman, E., Mol, A. P. J. (2013). Market-based biogas sector development in least developed countries: the case of Cambodia. *Journal of Energy Policy* 63, 44–51.
- Carrquiry M., Dong F., Elobeid A., Fabiosa J., Hart C. (2008). U.S and world agricultural outlook. Food and Agricultural Policy Research Institute. Iowa State University and the University of Missouri-Columbia FAPRI Staff Report 08-FSR 1. ISSN 1534-4533.
- Castellanos-Navarrete A., Tiftonell P., Rufino M.C., Giller K.E. (2014). Feeding, crop residue and manure management for integrated soil fertility management – a case study from Kenya. *Journal of Agricultural Systems*, 1–12.
- Chakeredza S., Temu A.B., Yaye A., Mukingwa S., Saka J. D. (2009). Mainstreaming Climate Change into Agricultural Education: Challenges and Perspectives. ICRAF Working Paper No. 82, World Agroforestry Centre, Nairobi.
- Chen B., Hong C., He X. (1992). Indoor air pollution and its health effects in China - a review. *Journal of Environmental Technology* 13, 301-312.
- Chiesura A., De Groot R. (2003). Critical natural capital: a socio-cultural perspective. *Journal of Ecological Economics* 44, 219–231.
- Cho J. K., Park S. C., Chang H. N. (1995). Biochemical methane potential and solid-state anaerobic-digestion of Korean food wastes. *Journal of Bioresource Technology* 52 (3), 245-253.
- Commission of the European Communities. Biomass action plan, communication from the commission. Brussels; 7 December 2005.
- Costa J., Pinto-Gouveia J. (2011). The mediation effect of experimental avoidance between coping and psychopathology in chronic pain. *Clinical Psychology and Psychotherapy*, 18 34-37.
- Dahl J., Broechner-Andersen M., Hanh B., Winterbäck J., Erkkilä A. (2005). Wood pellets – a growing market in Europe. In: 14th European Biomass Conference, 17–21 October Paris, France, 1975–8.
- Day, D.L., Chen, T.H., Anderson, J.C., Steinberg, M.P. (1990). Biogas plants for small farms in Kenya. *Biomass* 21 (2), 83-99.
- Debeer E., Hermans D., Raes F. (2009). Associations between components of rumination and autobiographical memory specificity as measured by a minimal instruction autobiographical memory test. *Memory* 17, 892-903.

- Dedeurwaerdere, T. (2014). Sustainability Science for Strong Sustainability.
- Di Falco S., Veronesi M. (2013). How can African agriculture adapt to climate change? A counterfactual analysis from Ethiopia. *Journal of Land Economy* 89 (4), 743–766.
- Dietz, S., Neumayer, E. (2007). Weak and strong sustainability in the SEEA: Concepts and measurement. *Journal of Ecological Economics* 61, 617–626.
- Direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 aprile 2009, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.
- Dornburg V., Faaij A., Verweij P., Langeveld H., van de Ven G. (2008). Biomass assessment: global biomass potentials and their links to food, water, biodiversity, energy demand and economy. *Climate change scientific assessment and policy analysis (WAB) programme*.
- Duncan L. E., Stewart A. J. (2007). Personal political salience: the role of personality in collective identity and action. *Political Psychology* 28, 143-164.
- Dunkel F., Hansen L., Halvorson, S. e Bangert A. (2017). Women's perceptions of health, quality of life, and malaria management in Kakamega County, Western Province, Kenya. *GeoJournal* 82, 841–865.
- EEA, 2010, The European environment — state and outlook 2010: Synthesis, State of the environment report, 1/2010, European Environment Agency. Mediation
- Efron B. (1987). Better bootstramp confidence intervals. *Journal of the American Statistical Association* 82, 171-185.
- Ekins, P., Simon, S., Deutsch, L., Folke, C., De Groot, R. (2003). A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability. *Journal of Ecological Economics* 44, 165–185.
- Elgar E., Northampton. De Groot R., Van der Perk J., Chiesura A., van Vliet A. (2003). Importance and threat as determining factors for criticality of natural capital. *Journal of Ecological Economics* 44, 187–204.
- Ericsson K., Nillsson L.J. (2004) International biofuel trade – a study of the Swedish import. *Journal of Biomass and Bioenergy* 26 (3), 205-220.
- European Commission (2006). EurObserv'ER Biofuels barometer: 5.38 Mtoe consumed in 2006 in the EU.

European Commission (2008). Proposal for a directive of the European parliament and of the council on the promotion of the use of energy from renewable sources. Brussels, Belgium.

Ezzati M., Kammen M. D. (2001). Indoor air pollution from biomass combustion and acute respiratory infections in Kenya: an exposure-response study. 358, 619–24.

FAO (2006). Global forest resource assessment – progress towards sustainable forest management. ISBN 92-5-105481-9.

FAO (2007). State of the World's forests. ISBN 978-92-5-105586-1.

FAOstat (2017). World energy production by crop.

Fargione J., Plevin R., Hill J. (2010). The Ecological Impact of Biofuels. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 41, 351-377.

Fausser P., Sørensen P.B., Nielsen M., Winther M., Plejdrup M.S., Hoffmann L., Gyldenkerne S., Mikkelsen M.H., Albrektsen R., Lyck E., Thomsen M., Hjelgaard K., Nielsen O.-K. (2011). Monte carlo (Tier 2) uncertainty analysis of danish greenhouse gas emission inventory. *Greenhouse Gas Measurement Management* 1, 145–160.

G. Peksa-Blanchard, P. Dolzan, A. Grassi, J. Heinimö, M. Junginger, et al. Global wood pellets markets and industry: policy drivers, market status and raw material potential

Global Energy Statistical Yearbook (2017).

Godfray H.C.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Pretty J., Robinson S., Thomas S.M., Toulmin C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 80 (327), 812–818.

Goetz S., Hansen M., Houghton R., Walker W., Laporte N., Busch J. (2015) Measurement and monitoring needs, capabilities and potential for addressing reduced emissions from deforestation and forest degradation under REDD+. *Environmental Research Letters*, 10.

Gollin, D., Jedwab, R., & Vollrath, D. (2016). Urbanization with and without industrialization. *Journal of Economic Growth* 21(1), 35–70.

Goodall C. E., Slater M. D., (2010). Automatically activated attitudes as mechanism for message effects: the case of alcohol advertisements. *Communication Research* 37, 620-643.

Haftu E., Kiros M., Gebresilasse H., Kidane H. (2017). Determinants for adoption decision of small scale biogas technology by rural households in Tigray, Ethiopia. *Journal of Energy Economics* 66, 272–278

Hammer, T. (1983). Socio-economic implications of fuelwood development in poor countries. Chr. Michelsens Institututt, DERAP Arbeidsnotat.

Hansson J., Berndes G. (2006). The prospects for large-scale import of biomass and biofuels into Sweden – a review of critical issues. *Journal of Energy for Sustainable Development* 10 (1), 82-94.

Heinimö J. (2008). Methodological aspects on international biofuels trade: international streams and trade of solid and liquid biofuels. *Journal of Finland Biomass and Bioenergy* 32 (8), 702-716.

Hektor B., Ling E. (2006). Country Report, Sweden. Country report for IEA Bioenergy Task 40.

Hickman J.E., Palm C., Mutuo P., Melillo J.M., Tang J. (2014). Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions in response to increasing fertilizer addition in maize (*Zea mays* L.) agriculture in western Kenya. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 100, 177–187.

Hillring B. (2006). World trade in forest products and wood fuel. *Journal of Biomass and Bioenergy* 30 (10), 815-825.

Hoogwijk M. (2004). On the global and regional potential of renewable energy sources. ISBN 90-393-3640-7.

Hoogwijk M., Faaij A., Eickhout B., de Vries B., Turkenburg W. (2005). Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Journal of Biomass and Bioenergy* 29 (4), 225-257.

Hyman, E.L. (1983). Analysis of the woodfuels market: a survey of fuelwood sellers and charcoal makers in the province of Ilocos Norte, Philippines. *Biomass* 3 (3), 167-179,181-197.

IEA (2006). World energy outlook. ISBN 92-64-10989-7-2006.

IEA (2007). Bioenergy Task 40.

IEA (2017). Key world energy statistics.

IEA, (2006) World Energy Outlook - Chapter 15, Energy for cooking in developing countries. Paris: International Energy Agency/Organisation for Economic Co-operation and Development.

IPCC, 2014. Summary for Policymakers. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

- James, L. R., & Brett, J. M. (1984). Mediators, moderators and tests for mediation. *Journal of Applied Psychology*, 69, 307-321.
- Jecinta W., Mwirigi J. W., Makenzi P. M., Ochola W. (2009). Socio-economic constraints to adoption and sustainability of biogas technology by farmers in Nakuru Districts, Kenya. *Energy for Sustainable Development* 13, 106–115.
- Jianga Y., van der Werfb E., van Ierland E., Keesman K. (2017). The potential role of waste biomass in the future urban electricity system. *Journal of Biomass and Bioenergy* 107, 182-190.
- Judd C. Kenny D. (1981). Process analysis: estimating mediation in treatment evaluations. *Evaluation Review* 5, 605-619.
- Junginger M., de Wit M., Sikkema R. (2006). International bioenergy trade in the Netherlands. *Biomass and Bioenergy* 32 (8), 672-687.
- Junginger M., Faaij A., Rosillo-Calle F., (2006). Woods The growing role of biofuels – Opportunities, challenges and pitfalls. *International Sugar Journal* 108 (1295), 618-629.
- Kabera T., Nishimwe H., Imanantirenganya I., Mbonyi K. (2016). Impact and effectiveness of Rwanda's National Domestic Biogas programme. *International Journal of Environmental Studies* 73(3), 402–421.
- Kabir H., Yegbemey R., Bauer S. (2013). Factors determinant of biogas adoption in Bangladesh. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28, 881–889.
- Kaburi S. M., Medley K. E. (2011). Community Perspectives on Fuelwood Resources in East Africa. *Mountain Research and Development* 31(4), 315-324.
- Kaltschmitt M., Weber M. (2006). Markets for solid biofuels within the EU-15. *Journal of Biomass and Bioenergy* 30 (11), 897-907.
- Kammen D. M. (1995). Cookstoves for the developing world. *Scientific American* 273, 64–67.
- Kandpal, J. Maheshwari R. e Kandpal T. (1994) Comparison of CO, NO<sub>2</sub> and HCHO emissions from biomass combustion in traditional and improved cookstoves. *Energy* 19(11), 1151-1155.
- Kaygusuz K. (2011). Energy services and energy poverty for sustainable rural development. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 936–947.

Kerkhof P. (2010). The process of woodfuel substitution for LPG in the Sahel – a study of nine countries, in *Liquefied Petroleum Gas (LPG) - Demand, Supply and Future Perspectives for Sudan*. UKAID: Khartoum.

Kim D.-G., Thomas A.D., Pelster D., Rosenstock T.S., Sanz-Cobena A. (2015). Reviews and syntheses: greenhouse gas emissions in natural and agricultural lands in sub-Saharan Africa: synthesis of available data and suggestions for further studies. *Biogeosci.*

Kituyi E., Marufu L., Huber B., Andreae M., Helas G. (2001). Biofuel consumption rates and patterns in Kenya. *Biomass and Bioenergy* 20(2), pp. 83-99.

Kituyia E., Marufu L., Wandiga S., Jumba I., Andreae M., Helas G. (2001). Biofuel availability and domestic use patterns in Kenya. *Biomass and Bioenergy* 20, 71-82.

La Carta di Aalborg, 1994, atto costitutivo della Campagna delle città europee sostenibili.

Lanza, A. (2006). *Lo Sviluppo Sostenibile*. Il Mulino (pag 74).

Lengkeek A. G., Kindt R., van der Maesen L. J. G., Simons A. J., Oijen D. C. (2005). Tree density and germplasm source in agroforestry in Meru, Mount Kenya. *Journal of Genetic Resources and Crop Evolution* 52, 709–721.

Liu W., Tian K., He Y., Jiang H., Yu H. (2014). High-Yield Harvest of Nanofibers/Mesoporous Carbon Composite by Pyrolysis of Waste Biomass and Its Application for High Durability Electrochemical Energy Storage. *Journal of Environmental Sciences and Technology* 48 (23), 13951–13959.

Liu Z., Queka A., Kent S., Balasubramanian H. (2013). Production of solid biochar fuel from waste biomass by hydrothermal carbonization. *Fuel* 103, 943-949.

MacKinnon, D. P., Lockwood, C. M., & Williams, J. (2004). Confidence limits for the indirect effect: Distribution of the product and resampling methods. *Multivariate Behavioral Research* 39, 99-128.

Mahiri I. O. (2003). Rural household responses to fuelwood scarcity in Nyando district, Kenya. *Land Degradation and Development* 14, 163–171.

Mahiri I., Howorth C. (2001). Twenty years of resolving the irresolvable: approaches to the fuelwood problem in Kenya. *Land Degradation and Development* 12, 205–215.

Mancarella M. (2009). Il principio dello sviluppo sostenibile: tra politiche mondiali, diritto internazionale e Costituzioni nazionali. Voce in *Enciclopedia di Bioetica e Scienza giuridica*, Napoli.

Mancebo, F. (2013). *Développement durable*. Arman Colin, 2ème édition, Paris.

- Marufu, L., Ludwig, J., Andreae, M.O., Meixner, F.X., Helas, G. 1997. Domestic biomass burning in rural and urban Zimbabwe - Part A. *Biomass and Bioenergy* 12(1), 53-68.
- Maslow, A. H. (1943). A Theory of Human Motivation. *Psychological Review*, 50(4), 370-96.
- Maslow, A. H. (1954). *Motivation and personality*. New York: Harper and Row.
- Meeker W. Q., Cornwell L. W., Aroian L.A. (1981). The product of two normally distributed random variables. In: Kennedy WJ, Odeh RE, editors. *Selected tables in mathematical statistics*. VII. Providence, RI: American Mathematical Society.
- Mekonnen, A. (1999). Rural household biomass fuel production and consumption in Ethiopia: A case study. *Journal of Forest Economics* 5 (1), 69-97.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystem and Human Well-being: A Synthesis*. Island Press, Washington DC.
- Miller T. L., del Carmen T. M., Reutzler C. R., Certo S. T. (2007). Mediation in strategic management research: conceptual beginning, current application, and future recommendation. In D. Ketchen and D. D. Bergh (Eds.), *Research methods in strategy and management*, 295-318. London, Elsevier.
- Mitlin, D., Satterthwaite, D. (2013). *Urban poverty in the global south: scale and nature*. Abingdon, Routledge.
- Mukhopadhyay R. (2012). Cooking practices, air quality, and the acceptability of advanced cookstoves in Haryana, India: an exploratory study to inform largescale interventions. *Global Health Action* 5.
- Muyanga M., Jayne T.S. (2014). Effects of rising rural population density on smallholder agriculture in Kenya. *Food Policy* 48, 98–113.
- Mwakaje A.G. (2008). Dairy farming and biogas use in Rungwe District, South-west Tanzania: a study of opportunities and constraints. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 2240–52.
- Neumayer, E. (2003). *Weak versus strong sustainability: exploring the limits of two opposing paradigms*. Edward Elgar, Northampton.
- Neumayer, E. (2012). Human development and sustainability. *Journal of Human Development and Capabilities* 13(4), 561–579.

- Neupane M., Basnyat B., Fischer R., Froeschl G., Wolbers M., Rehfuess E. (2015). Sustained use of biogas fuel and blood pressure among women in rural Nepal. *Journal of Environmental Research* 136, 343–351.
- Njenga M., Iiyama M., Jamnadas R., Helander H., Larsson L., Leeuw J., Neufeldt H., Nowina K. e Sundberg C. (2015). Gasifier as a cleaner cooking system in rural Kenya. *Journal of Cleaner Production* 121, 208-217.
- Noël, J-F., O’connor, M. (1998). Strong Sustainability and Critical Natural Capital. In: Faucheux, S., O’Connor, M. -Valuation for Sustainable Development: Methods and Policy Indicators. Edward Elgar Publisher, Cheltenham, pp. 75–99.
- Nzila C., Dewulf J., Spanjers H., Kiriamiti H., van Langenhove H. (2010). Biowaste energy potential in Kenya. *Journal of Renewable Energy* 35, 2698-2704
- Ogle S.M., Olander L., Wollenberg L., Rosenstock T., Tubiello F., Paustian K., Buendia L., Nihart A., Smith P. (2014). Reducing greenhouse gas emissions and adapting agricultural management for climate change in developing countries: providing the basis for action. *Global Change Biology* 20, 1–6.
- Oloo, J.O. (2013). Influence of traditions/customs and beliefs/norms on women in tree growing in Siaya County, Kenya. *Global Journal of Environmental Science and Technology* 1 (1), 1–6.
- Openshaw K. (2010). Biomass energy: employment generation and its contribution to poverty alleviation. *Journal of Biomass and Bioenergy* 34(3), 365-378.
- Ortiz-Gonzalo D., Vaast P., Oelofse M., De Neergaard A., Albrecht A., Rosenstock T. (2017). Farm-scale greenhouse gas balances, hotspots and uncertainties in smallholder crop-livestock systems in Central Kenya. *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment* 248, 58–70.
- Osemeobo, G.J. (1992). Fuelwood exploitation from natural ecosystems in Nigeria: socio-economic and ecological implications. *Journal of Rural Development (Hyderabad)* 11(2), 141-155.
- Patrick V. M., Hagtvedt H. (2011). Aesthetic incongruity resolution. *Journal of Marketing research* 48, 393-402.
- Pérez I., Garfi M., Cadena E., Ferrer I. (2014). Technical, economic and environmental assessment of household biogas digesters for rural communities. *Journal of Renewable Energy* 62, 313-318
- Peterman A., Behrman J.A., Quisumbing A.R. (2014). A review of empirical evidence on gender differences in nonland agricultural inputs, technology, and services in developing

countries. In: Quisumbing, A.R., et al. (Eds.), *Gender in Agriculture. Closing the Knowledge Gap*. FAO and Springer Science, Washington DC.

Preacher, K. J., Selig J. P. (2012). Advantages of Monte Carlo confidence intervals for indirect effects. *Communication Methods and Measures* 6, 77-98.

Preto, G. (1984). Some forestry problems in the Sahel. *Rivista di Agricoltura Subtropicale e Tropicale* 78(3-4), 399-436.

Ramsey, F. P. (1928). A Mathematical theory of savings. *The Economic Journal* 38 (152), 543-559.

Ravallion, M., Chen, S., & Sangraula, P. (2007). New evidence on the urbanization of global poverty. *Population and Development Review*, 33(4), 667–701.

Rehfuess E., Briggs D., Joffe M., Best N. (2010). Bayesian modelling of household solid fuel use: Insights towards designing effective interventions to promote fuel switching in Africa. *Environmental Research* 110, 725–732

REN21 (2008). *Renewables 2007-Global status report*. Renewable Energy Policy Network for the 21st century (REN21 Secretariat). Worldwatch Institute, Paris and Washington,

Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) (2016). *Renewables global status report*.

Renewable Fuels Association (2007). *Building new horizons – ethanol industry outlook*. Washington, DC.

Renewable Fuels Association (2006). *From Niche to Nation – Ethanol Industry Outlook*. Washington, DC.

Renewable Fuels Association (2005). *Homegrown for the homeland – ethanol industry outlook*. Washington, DC.

Renewable Fuels Association (2016). *Ethanol industry statistics*.

Righetti, F., Finkenauer C. (2011). If you are able to control yourself, I will trust you: the role of perceived self control in interpersonal trust. *Journal of Personality and Social Psychology*, 100 874-886.

Rijal H., Yoshida H. (2002). Investigation and evaluation of firewood consumption in traditional houses in Nepal. *Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, 1000–1005.

Riva G., Calzoni J., Panvini A. (2000). *Impianti a biomasse per la produzione di energia elettrica*, CTI Energia e Ambiente.

Rosillo-Calle F., Perry M. (2008). Country report for United Kingdom. Country report for IEA bioenergy Task 40.

Rosillo-Calle F., Walter A. (2006). Global market for bioethanol: historical trends and future prospects *Energy for Sustainable Development* 10 (1), 20-32

Rucker D. D., Preacher K. J., Tormala Z. L., Petty R. E. (2011). Mediation analysis in social psychology: current practice and new recommendations. *Personality and Social Psychology Compass* 5/6, 359-371.

Rudebjer P. G., Temu A. B., Kung'u J. (2005). Developing agroforestry curricula: a practical guide for institutions in Africa and Asia. World Agroforestry Centre, Bogor.

Ruiz-Mercado I.M., Zamora H., Smith K. R. (2010), Adoption and sustained use of improved cookstoves. *Energy Policy* 39, 7557-7566.

RWEDP-FAO (1997). Regional Study on Wood Energy Today and Tomorrow in Asia. Field Document – Regional Wood Energy Development Programme in Asia, N. 50.

Sander, K., Hyseni B., Haider W. (2011). Wood-based biomass energy development for Sub-Saharan Africa: issues and approaches, ed. A.E. Unit. Washington DC, The World Bank.

Satyanarayan S., Murkute P., Ramakant F. (2008). Biogas production enhancement by Brassica compostries amendment in cattle dung digesters. *Journal of Biomass and Bioenergy* 32(3), 210-305.

Scheidel, A. (2013). Flows, funds and the complexity of deprivation: using concepts from ecological economics for the study of poverty. *Journal of Ecological Economics* 86, 28–36.

Schwela, D. (1997). Cooking smoke: a silent killer. *People & the planet/IPPF, UNFPA, IUCN* 6(3), 24-25

Senelwa K. e Sims R. (1999). Opportunities for small scale biomass-electricity systems in Kenya. *Journal of Biomass and Bioenergy* 17, 239-255.

Sesan T. (2012). Navigating the limitations of energy poverty: Lessons from the promotion of improved cooking technologies in Kenya. *Energy Policy* 47, 202–210

Shi Y., Ge Y., Chang J., Shao H., Tang Y. (2013). Garden waste biomass for renewable and sustainable energy production in China: Potential, challenges and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 22, 432-437.

Shifa M. e Leibbrandt M. (2017) *Urban Poverty and Inequality in Kenya*. Springer Science and Business Media.

- Shrum L. J., Lee J., Burroughs J. E., Rindfleish A. (2011). An online process model of second-order cultivation effects: how television cultivates materialism and its consequences. *Human Communication Research* 37, 34-57.
- Sikkema R., Junginger M., Faaij A. (2008). Proceedings of the workshop on development of meaningful statistics for sustainable bioenergy trade, organized by IEA Bioenergy Task 40 on Sustainable International Bio-energy Trade. Paris, France.
- Sinha S., Kulkarni P., Shah S., Desai N., Patel G., Mansuri M., Saiyed H. (2006). Environmental monitoring of benzene and toluene produced in indoor air due to combustion of solid biomass fuels. *Science of the Total Environment* 357, 280– 287.
- Smeets E., Faaij A., Lewandowski I. (2004). A quickscan of global bio-energy potentials to 2050. An analysis of the regional availability of biomass resources for export in relation to the underlying factors. Copernicus institute – Utrecht University.
- Smith K., Samet J., Romieu I. e Bruce N. (2000). Indoor air pollution in developing countries and acute lower respiratory inceptions in children. *Thorax* 55, 518-532.
- Smith, K. R., Roger, J., Cowlin, S. C. (2005). Household fuels and ill - health in developing countries: What improvement can be brought by LP Gas (LPG)? Paris, France: World LP Gas Association and Intermediate Technology Development Group.
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics* 70, 65-94.
- Solow, R. M. (1957). Technical change and the aggregate production function. *Review of Economics and Statistics* 39, 748-762.
- Solow, R. M. (1994). Perspectives on growth theory. *Journal of Economic Perspectives* 8(1), 45-54.
- Somda J., Nianogo J., Nassa S., Sanou S. (2002). Soil fertility management and socio-economic factors in crop–livestock systems in Burkina Faso: a case study of composting technology. *Journal of Ecological Economics* 43, 175–183.
- Sovacool B., Kryman M. e Smith T. (2014). Scaling and commercializing mobile biogas systems in Kenya: A qualitative pilot study. *Journal of Renewable Energy* 76, 115-125.
- Srinivas SN (2000). Biomass consumption in unorganised enterprises in India. *Biomass Users Network, India* 3(3), 2–4.
- Stanners, D., Bosch, P., Dom, A., Gabrielsen, P., Gee, D., Martin, J., Rickard, L. and Weber, J.-L. (2007). Frameworks for environmental assessment and indicators at the EEA, in:

Sustainable Indicators: A scientific assessment, Scientific Committee on Problems of the Environment, Island Press, London.

Statistics Finland. Energy statistics. Yearbook 2007. Helsinki; 2007. ISBN 978-952-467-776-9.

Swan, T. W. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic Record* 32 (2), 334-361.

Templeton S. R., Scherr S. J. (1999). Effects of demographic and related microeconomic change on land quality in hills and mountains of developing countries. *World Development* 27(6), 903–918.

Temu A. B., Chakeredza S., Mogotsi K., Munthali D., Mulinge R. (2004) Rebuilding Africa's Capacity for agricultural development: The role of tertiary education. Reviewed papers presented at African Network for Agriculture, Agroforestry and Natural Resources Education (ANAFE) symposium on tertiary education, April 2003. ICRAF, Nairobi.

Temu A. B., Chamshama S. A., Kung'u J., Kaboggoza J., Chikamai B., Kiwia A. (2008). New Perspectives in Forestry Education. Peer reviewed papers presented at the First Global Workshop on Forestry Education, September 2007. ICRAF, Nairobi.

Toman, M.A. (1992). The Difficulty in defining Sustainability. In: Darmstadter J. (Ed.), *Global Development and the Environment: Perspectives on Sustainability*. Resources for the future, Washington D.C.

Turok, I., & McGranahan, G. (2013). Urbanization and economic growth: the arguments and evidence for Africa and Asia. *Environment and Urbanization*, 25(2), 465–482.

UNDP. (2011). *Human development report 2011: Sustainability and equity: A better future for all*, Palgrave MacMillan, Basingstoke.

United Nations Conference on Trade and Development (2006). Geneva, Switzerland.

Van den Hove, S. (2000). Participatory approaches to environmental policymaking: the European Commission Climate Policy Process as a case study. *Journal of Ecological Economics* 33, 457–472.

Vierhout R. (2008). European bioethanol fuel association. The EU bioethanol fuel market - state of play and the challenges ahead. In: Presentation at the World Biofuels Markets Congress. Brussels, Belgium.

Walekhwa P., Mugisha J., Drake L. (2009). Biogas energy from family sized digesters in Uganda: critical factors and policy implications. *Journal of Energy Policy* 37, 2754–2792.

- Walter A., Dolzan P., Piacente E. (2007). Biomass energy and bioenergy trade: historic developments in Brazil and current opportunities – country report for IEA Bioenergy Task 40. Unicamp. Campinas, Brazil
- Walter A., Rosillo-Calle F., Dolzan P., Piacente E., Borges da Cunha K. (2008). Perspectives on fuel ethanol consumption and trade. *Journal of Biomass and Bioenergy* 32 (8), 730-748.
- Walter A., Rosillo-Calle F., Dolzan P., Piacente E., Borges K. (2007). Cunha Market evaluation: fuel ethanol. Task 40 Sustainable bio-energy trade; securing supply and demand, Campinas, Brazil.
- Wamukonya L. (1995). Energy consumption in three rural Kenyan households: a survey. *Journal of Biomass and Bioenergy* 6, 445-45.
- Whitney J.B.R., Dufournaud C.M., Murck, B.W. (1987). An examination of alternatives to traditional fuelwood use in the Sudan. *Journal of Environmental Management* 25(4), 319-346.
- WHO (1996). Health Cities Indicators, Analysis of data from across Europe.
- WHO (2010). Health in the green economy - household energy sector in developing countries. Geneva, Switzerland.
- Wohl M. J. A., Branscombe N. R. (2009). Group threat, collective angst, and in group forgiveness for the war in Iraq. *Political Psychology* 30, 193-217.
- World Bank (1989). Sub Saharan Africa: from crisis to sustainable development, Washington DC.
- World Bank (2009). Environmental Crisis or Sustainable Development Opportunity? Transforming the Charcoal Sector in Tanzania. A Policy Note.
- Yamamoto, S., Sié, A., Sauerborn, R. (2009). Cooking fuels and the push for cleaner alternatives: a case study from Burkina Faso. *Journal of Global Health Action* 2(1), 2088-2102.
- Yaye A. D., Ochola A. O., Chakeredza S., Aucha J. (2017). Strengthening capacity for agribusiness in agroforestry and natural resources in tertiary agricultural education in Africa: African Network for Agriculture, Agroforestry and Natural Resources Education (ANAFE). *Journal of Agroforest Systems* 91, 835-845.
- Yonemitsu A., Njenga M., Iiyama M., Matsushita S. (2014). A choice experiment study on the fuel preference of Kibera slum households in Kenya. *Journal of Energy and Sustainability* 186, 821-830.

Yousuf A., Khan M. R., Pirozzi D., Wahid Z. (2016). Financial sustainability of biogas technology: barriers, opportunities, and solutions, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy* 11(9), 841-848.

## SITOGRAFIA

[www.bioenergydays.com/pdf\\_file/lecturer\\_eng/am\\_Session\\_Bioenergy/J\\_Swaan\\_WoodPellets\\_America\\_2006.pdf](http://www.bioenergydays.com/pdf_file/lecturer_eng/am_Session_Bioenergy/J_Swaan_WoodPellets_America_2006.pdf)

[www.bioenergytrade.org/downloads/belgiumcountryreport060906.pdf](http://www.bioenergytrade.org/downloads/belgiumcountryreport060906.pdf)

[www.bioenergytrade.org/downloads/brazilcountryreport.pdf](http://www.bioenergytrade.org/downloads/brazilcountryreport.pdf)

[www.bioenergytrade.org/downloads/finalreportethanolmarkets.pdf](http://www.bioenergytrade.org/downloads/finalreportethanolmarkets.pdf)

[www.bioenergytrade.org/downloads/ieatask40pelletandrawmaterialstudynov2007final.pdf](http://www.bioenergytrade.org/downloads/ieatask40pelletandrawmaterialstudynov2007final.pdf)

[www.bioenergytrade.org/downloads/parisproceedingsworkshopmeaningfulbioenergytrade.pdf](http://www.bioenergytrade.org/downloads/parisproceedingsworkshopmeaningfulbioenergytrade.pdf)

[www.bioenergytrade.org/downloads/ukcountryreport180906.pdf](http://www.bioenergytrade.org/downloads/ukcountryreport180906.pdf)

[www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf)

[www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/investors/bp-annual-report-and-form-20f-2016.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/investors/bp-annual-report-and-form-20f-2016.pdf)

[www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/sustainability-report/group-reports/bp-sustainability-report-2016.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/sustainability-report/group-reports/bp-sustainability-report-2016.pdf)

[www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017.pdf)

[www.davidakenny.net/cm/mediate.htm](http://www.davidakenny.net/cm/mediate.htm)

[www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/observ/baro179\\_b.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro179_b.pdf)

[www.ethanolrfa.org/industry/statistics/#E](http://www.ethanolrfa.org/industry/statistics/#E)

[www.ethanolrfa.org/objects/pdf/outlook/outlook\\_2005.pdf](http://www.ethanolrfa.org/objects/pdf/outlook/outlook_2005.pdf)

[www.ethanolrfa.org/objects/pdf/outlook/outlook\\_2006.pdf](http://www.ethanolrfa.org/objects/pdf/outlook/outlook_2006.pdf)

[www.ethanolrfa.org/objects/pdf/outlook/RFA\\_Outlook\\_2007.pdf](http://www.ethanolrfa.org/objects/pdf/outlook/RFA_Outlook_2007.pdf)

[www.eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=celex:32009L0028](http://www.eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=celex:32009L0028)

[www.europa.eu.int/comm/regional\\_policy/urban2/urban/audit/src/intro.html](http://www.europa.eu.int/comm/regional_policy/urban2/urban/audit/src/intro.html)

[www.fao.org/faostat/en/#data/QC](http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC)

[www.faostat.fao.org/](http://www.faostat.fao.org/)

[www.fas.usda.gov/psdonline/](http://www.fas.usda.gov/psdonline/)

[www.globalreporting.org](http://www.globalreporting.org)

[www.gsars.org/wp-content/uploads/2016/12/TR\\_Developing-a-woodfuel-survey-module-071216.pdf](http://www.gsars.org/wp-content/uploads/2016/12/TR_Developing-a-woodfuel-survey-module-071216.pdf)

[www.hdr.undp.org/en/media/HDR\\_2011\\_EN\\_Complete.pdf](http://www.hdr.undp.org/en/media/HDR_2011_EN_Complete.pdf)

[www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/key\\_stats\\_2007.pdf](http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/key_stats_2007.pdf) (2007) pp 78

[www.indexmundi.com/en/commodities/agricultural/oil-palm/](http://www.indexmundi.com/en/commodities/agricultural/oil-palm/)

[www.portofrotterdam.com/nl/nieuws/persberichten/2008/20080229\\_01.jsp](http://www.portofrotterdam.com/nl/nieuws/persberichten/2008/20080229_01.jsp) (2008)

[www.publications.worldbank.org/WDI/indicators](http://www.publications.worldbank.org/WDI/indicators)

[www.ren21.net/pdf/RE2007\\_Global\\_Status\\_Report.pdf](http://www.ren21.net/pdf/RE2007_Global_Status_Report.pdf) 54 p

[www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR\\_2016\\_Full\\_Report.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report.pdf)

[www.sustainable-cities.org/indicators/](http://www.sustainable-cities.org/indicators/)

[www.sustainable-cities.org/sub12a.html](http://www.sustainable-cities.org/sub12a.html)

[www.sustainable-development.gov.uk/indicators/index.htm](http://www.sustainable-development.gov.uk/indicators/index.htm)

[www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/isd.htm](http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/isd.htm)

[www.unctad.org/en/docs/ditcted20064\\_en.pdf](http://www.unctad.org/en/docs/ditcted20064_en.pdf)

[www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf](http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf)

## Appendice 1

<b>CAMPIONE</b>	<b>GENERE</b>	<b>ETA</b>	<b>TITOLO</b>	<b>OCCUPAZ</b>	<b>USO_impCAL</b>	<b>RE_AP</b>	<b>TEM_SE</b>	<b>AMB</b>	<b>ACQ_FL</b>	<b>CONS_PC</b>	<b>CO2_EMIS</b>	<b>NUC_FAM</b>
MR001	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0.63	10.5	3.00
MR002	0	1	0	0	2	0	1	1	0	20.16	11.48	3.00
MR003	0	1	0	0	2	1	2	0	0	20.16	11.48	3.00
MR004	0	1	0	0	2	1	2	0	1	60.48	11.48	4.00
MR005	0	1	0	0	2	1	1	1	1	33.6	11.48	5.00
MR006	0	1	0	0	2	1	2	0	0	26.88	11.48	4.00
MR007	0	1	0	0	2	1	2	0	1	40.32	11.48	6.00
MR008	0	1	0	0	2	0	1	0	1	26.88	11.48	4.00
MR009	0	1	0	0	3	1	2	0	1	16.38	11.48	9.00
MR010	0	1	0	0	2	0	2	1	0	67.2	11.48	10.00
MR011	0	1	0	1	2	1	1	0	1	53.76	11.48	8.00
MR012	0	1	0	1	3	1	2	0	1	14.56	11.48	8.00
MR013	0	1	0	1	2	1	2	0	1	26.88	11.48	4.00
MR014	0	1	0	1	3	0	2	0	1	10.92	11.76	6.00
MR015	0	2	1	0	2	0	1	1	1	33.6	11.48	5.00
MR016	0	2	0	1	3	0	2	0	1	3.64	11.76	2.00
MR017	0	2	2	1	0	1	1	0	0	1.26	10.5	6.00
MR018	0	2	2	1	0	1	0	1	0	1.05	10.5	5.00
MR019	0	2	2	1	3	0	2	0	0	12.74	11.76	7.00
MR020	0	2	2	1	2	1	0	1	1	26.88	11.48	4.00
MR021	0	2	2	1	2	0	2	0	0	13.44	11.48	2.00
MR022	0	2	1	2	2	1	2	0	1	33.6	11.48	5.00
MR023	0	2	1	2	1	0	1	0	1	10.08	6.48	3.00
MR024	0	2	1	2	2	0	2	1	0	40.32	11.48	6.00
MR025	0	2	0	2	3	1	2	0	1	9.1	11.76	5.00
MR026	0	3	0	1	3	0	2	0	0	7.28	11.76	4.00
MR027	0	3	2	1	0	1	0	1	1	1.26	10.5	6.00
MR028	0	3	3	1	0	0	0	1	1	1.05	10.5	5.00
MR029	0	3	1	3	2	0	2	0	0	20.16	11.48	3.00
MR030	0	3	1	3	2	0	2	0	0	13.65	11.48	2.00
MR031	0	3	2	3	2	1	2	0	1	20.16	11.48	3.00
MR032	0	4	0	1	0	1	1	0	0	0.63	10.5	3.00

<b>MR033</b>	0	4	1	1	2	0	2	1	0	26.88	11.48	4.00
<b>MR034</b>	0	4	0	2	2	1	2	0	0	40.33	11.48	6.00
<b>MR035</b>	0	4	0	2	1	0	2	0	1	23.52	6.48	7.00
<b>MR036</b>	0	4	1	1	3	0	0	1	1	14.56	11.76	8.00
<b>MR037</b>	1	1	0	0	2	0	2	0	0	20.16	11.48	3.00
<b>MR038</b>	1	1	0	0	2	1	2	0	1	33.6	11.48	5.00
<b>MR039</b>	1	1	0	0	2	1	1	1	1	47.04	11.48	7.00
<b>MR040</b>	1	1	0	0	2	1	1	0	1	40.32	11.48	6.00
<b>MR041</b>	1	1	0	0	2	0	2	1	0	53.76	11.48	8.00
<b>MR042</b>	1	1	0	0	3	1	1	0	1	7.28	11.76	4.00
<b>MR043</b>	1	1	0	0	3	0	2	0	0	9.1	11.76	5.00
<b>MR044</b>	1	1	0	0	3	0	2	0	0	3.64	11.76	2.00
<b>MR045</b>	1	1	0	0	3	0	2	0	1	5.46	11.76	3.00
<b>MR046</b>	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0.84	10.5	4.00
<b>MR047</b>	1	1	0	0	3	0	2	0	1	5.46	11.76	3.00
<b>MR048</b>	1	1	0	1	2	1	2	1	1	40.32	11.48	6.00
<b>MR049</b>	1	1	0	1	2	1	2	1	1	33.60	11.48	5.00
<b>MR050</b>	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1.05	10.50	5.00
<b>MR051</b>	1	1	0	1	2	1	2	0	1	53.76	11.48	8.00
<b>MR052</b>	1	1	0	1	3	1	2	0	0	3.64	11.76	2.00
<b>MR053</b>	1	2	1	0	3	0	1	1	0	9.10	11.76	5.00
<b>MR054</b>	1	2	2	1	0	0	1	0	0	0.21	10.50	1.00
<b>MR055</b>	1	2	2	1	2	1	1	1	1	20.16	11.48	3.00
<b>MR056</b>	1	2	2	1	3	1	2	1	1	3.64	11.76	2.00
<b>MR057</b>	1	2	1	2	2	1	2	0	1	40.32	11.48	6.00
<b>MR058</b>	1	2	1	2	2	1	2	0	1	60.48	11.48	9.00
<b>MR059</b>	1	2	1	2	3	0	2	0	1	53.48	11.76	8.00
<b>MR060</b>	1	2	1	2	3	1	1	1	1	9.10	11.76	5.00
<b>MR061</b>	1	2	1	2	3	1	2	1	1	7.28	11.76	4.00
<b>MR062</b>	1	2	0	2	2	1	2	0	1	10.92	11.48	6.00
<b>MR063</b>	1	2	2	3	0	1	0	1	1	1.05	10.50	5.00
<b>MR064</b>	1	3	2	1	2	1	1	1	1	53.76	11.48	8.00
<b>MR065</b>	1	3	3	1	0	1	0	1	1	1.05	10.50	5.00
<b>MR066</b>	1	3	0	2	2	0	2	0	1	20.16	11.48	3.00
<b>MR067</b>	1	3	0	2	1	1	2	0	0	16.80	6.86	5.00
<b>MR068</b>	1	3	1	2	2	1	2	0	0	26.88	11.48	4.00
<b>MR069</b>	1	3	1	2	0	1	1	0	1	1.26	10.50	6.00
<b>MR070</b>	1	3	2	3	2	1	0	1	0	26.88	11.48	4.00
<b>MR071</b>	1	4	1	1	2	1	2	0	0	26.88	11.48	4.00
<b>MR072</b>	1	4	0	2	2	1	2	0	0	40.32	11.48	6.00

<b>MR073</b>	1	4	0	2	2	1	2	0	0	53.76	11.48	8.00
<b>MR074</b>	1	4	0	2	3	0	2	0	0	12.74	11.76	7.00
<b>MR075</b>	1	4	0	2	2	1	1	0	0	33.60	11.48	5.00
<b>MR076</b>	1	4	1	2	0	1	1	0	1	1.26	10.50	6.00