

PARTE III

L' USO SOSTENIBILE DELL' (ECO)SISTEMA TERRITORIALE

- 1 – Il concetto di sostenibilità nella pianificazione territoriale
- 2 – Le regole di sostenibilità dell'insediamento umano
 - 2.1 – Definizione dell'ambiente di riferimento
 - 2.2 - Relazioni tra insediamento umano e sistemi ambientali
 - 2.3 – Indicatori per la valutazione della sostenibilità (il bilancio entropico)
 - 2.3.1 – L'analisi emergica
 - 2.3.2 – L'impronta ecologica urbana e La biocapacità
 - 2.4 – Considerazioni di metodo
 - 2.5 - Le fonti energetiche rinnovabili
 - 2.5.1 - La stima del giacimento territoriale di energie rinnovabili
- 3 – Le risorse idriche
 - 3.1 – Il bilancio idrico
 - 3.2 – La stima dei fabbisogni
 - 3.2.1 – Fabbisogni civili
 - 3.2.2 – Fabbisogno industriale
 - 3.2.3 – Consumi agricoli
- 4 – Le risorse forestali
 - 4.1 – La sostenibilità della selvicoltura
 - 4.2 – I servizi ambientali del bosco
 - 4.3 – Conoscere per decidere: i valori del bosco
 - 4.3.1 – Il valore monetario dell'utilità sociale del bosco
 - 4.3.2 – Metodi a punteggio
 - 4.4 – La sostenibilità della produzione forestale

Boxes Metodologico-applicativi

- La popolazione
 - Stima dei flussi in uscita
 - I fabbisogni energetici
- La valutazione del giacimento di energie rinnovabili
 - La stima dell'energia radiante sul territorio tramite QGIS
 - La stima del potenziale bioenergetico territoriale
- Le risorse idriche
 - Il fabbisogno civile
 - Il fabbisogno industriale
 - Fabbisogno idrico in agricoltura
- Le risorse forestali
 - La verifica delle regole di sostenibilità
 - Trade-off produzione ambiente
 - L'utilità turistico-ricreativa

1

Il concetto di sostenibilità nella pianificazione territoriale

Il concetto di sostenibilità a cui abbiamo già fatto riferimento agli inizi di questo lavoro, risale agli albori della storia umana, tant'è che lo si ritrova già nelle civiltà sumeriche, mediterranee e maya; lo stesso antico proverbio keniano, che cita *“la Terra non ci è stata lasciata in eredità dai nostri padri, ma ci è stata data in prestito dai nostri figli”* ne è una prova. Le radici della sostenibilità quale oggi la intendiamo sono rintracciabili come già detto negli Stati Uniti, dove i temi fondamentali furono esposti per la prima volta dall'American Environmental Movement (nel quale figurano personalità tra cui Henry David Thoreau, Ralf Waldo Emerson e George Perkins Marsh). Interessante è capire come il concetto si è nel tempo evoluto e caricato di significati. Inizialmente il concetto di sostenibilità definito negli Stati Uniti si legava quasi esclusivamente alla necessità di dimostrare la bellezza e la grandezza della Natura in un momento storico in cui le attività di conquista e di civilizzazione del paese iniziavano a causare le prime grandi trasformazioni territoriali. Il concetto prendeva spunto principalmente, quindi, da istanze di tipo ambientalista ed ecologico, in quanto si cominciava a prendere atto che l'azione umana sul territorio provocava profonde ripercussioni sui cicli propri della natura. A questo tipo di approccio si aggiunsero ben presto quelli apportati da altri ambiti disciplinari, tra cui economia e sociologia, fino alla prima conferenza mondiale sull'ambiente (Stockholm Conference on the Human Environment) del 1972 che sancì: *“non si dà politica dell'ambiente senza soluzione dei problemi sociali e [...] che non è più possibile separare, in nessun momento*

dell'azione per l'ambiente, i problemi dell'ambiente stesso dai problemi dell'uomo”. Da questo punto in poi si cominciò quindi a prendere atto che ambiente e sviluppo erano due temi che dovevano necessariamente procedere di pari passo, fino ad arrivare al 1987, anno in cui la World Commission on Environment and Development delle Nazioni Unite coniò ufficialmente il termine di sviluppo sostenibile e sostenibilità (*sustainable development and sustainability*) in occasione della pubblicazione del Brundtland Report⁴⁰: concetto fondamentale del documento era che i bisogni delle generazioni future non dovevano essere sacrificati dalle esigenze delle popolazioni presenti.

Divenne presto chiaro che per risolvere le conseguenze di un certo tipo di sviluppo che comportava limiti al reperimento delle risorse non rinnovabili e problemi di inquinamento ambientale, non bastava occuparsi degli input ed output del sistema, ma si doveva necessariamente studiare il sistema che metabolizzava i flussi in entrata ed uscita.

La crescita del sistema economico-sociale doveva essere limitata rispetto alla capacità di sostegno della terra al fine di non compromettere gli equilibri presenti e futuri tra l'attività umana ed i cicli ambientali: si trattava quindi di studiare il modo di riconciliare il sistema economico-sociale con l'ambiente (ecosfera) che tale sistema sopportava. Al termine *sostenibile* se ne affiancava dunque un altro, *durevole*: per sostenibile doveva intendersi quella pratica che riusciva ad esplicarsi senza compromettere nel tempo lo stato di equilibrio dell'ambiente; per durevole quella società che, pur evolvendosi, non comprometteva il sistema ambientale cui faceva riferimento, lasciando inalterate le opportunità di cui aveva goduto.

Il concetto di sviluppo sostenibile, per quanto divenuto ormai di uso comune, si presta comunque ancora adesso a molte definizioni ed ambiguità, una delle quali sta nell'assimilare il termine *sviluppo* al termine *crescita*. Tra crescita e sviluppo vi è infatti una notevole differenza: se la crescita è legata soprattutto alla produzione di beni economici, lo sviluppo è legato invece a coloro che non hanno interessi immediati da soddisfare e ad un tipo di benessere della comunità umana che va oltre la semplice capacità di produzione di beni ed accessibilità agli stessi.

Anche durevolezza e sostenibilità potrebbero apparire come due termini intercambiabili, nel senso che entrambi i concetti pongono l'accento sulla qualità di un sistema vivente di perdurare nel tempo in equilibrio dinamico con il suo ambiente di riferimento: ma dal passaggio dell'uno all'altro si ha invece la perdita di una componente, ovvero la profondità storica.

Per fare chiarezza tra le varie definizioni di sviluppo sostenibile, si possono però riconoscere alcuni principi fondamentali comuni:

Principio dell'integrazione: sia gli ecosistemi che le attività umane dipendono da una rete complessa di relazioni. L'attività di un organismo (nell'ecosistema) o l'esito di un processo (nelle attività umane), influenza una moltitudine di altri processi: attraverso meccanismi di integrazione ciascun componente del sistema può servire ed essere servito dagli altri componenti, in modo da incrementare l'efficienza e la vitalità dell'intero sistema.

Principio della prevenzione: è necessario prevenire ogni possibile insorgenza di problemi futuri del sistema fuggendo gli impatti negativi dovuti alle attività con cui si persegue lo sviluppo ed aumentare quindi la resilienza del sistema rispetto ai cambiamenti.

Principio della conservazione della diversità biologica e culturale: è necessario mantenere la diversità all'interno degli ecosistemi così come nei sistemi antropizzati, in quanto è una garanzia di adattabilità dei sistemi stessi. Così come la diversità genetica aumenta il pool di potenziali risposte alle variazioni degli ecosistemi, allo stesso modo le diversità culturali e la diversificazione economica possono garantire alle comunità umane di trovare strumenti, vitalità e prospettive necessarie alla risoluzione delle proprie problematiche: ciò comporta la necessità che tutte le azioni di trasformazione includano iniziative finalizzate alla protezione della struttura, delle funzioni e della diversità del sistema naturale su cui operiamo.

Principio della valutazione della carrying capacity: ogni azione di trasformazione che mettiamo in atto in un determinato contesto non può prescindere dalla valutazione dell'impatto ambientale provocato dalla trasformazione stessa. Per comprendere l'impatto delle modificazioni che apportiamo al sistema dobbiamo quindi definire la capacità che il sistema ha di assorbire le output in uscita dal sistema dopo la trasformazione.

Principio della stewardship: la comunità umana che apporta le trasformazioni ha anche il compito di vigilare sull'ambiente per il beneficio delle generazioni presenti e future.

Principio della innovazione scientifica e tecnologica: è fondamentale supportare la ricerca scientifica e tecnologica al fine di sviluppare tutte quelle tecniche e conoscenze utili a mantenere alta la qualità ambientale, i valori sociali e culturali, la crescita economica.

Principio della responsabilità: è necessario porre l'accento sul fatto che siamo responsabili delle conseguenze delle azioni e delle trasformazioni che attuiamo sia a livello locale che a livello globale. Dobbiamo ricordarci che ci sono forti interdipendenze tra regioni e nazioni: ogni più piccolo cambiamento scala locale influenza la scala globale e viceversa.

Principio del riciclo: come accade per gli ecosistemi, la comunità umana deve essere in grado di gestire i prodotti di rifiuto e chiudere i propri cicli vitali, impedendo l'accumulo di rifiuti nel sistema sotto forma di inquinanti.

Principio dell'amministrazione corretta dell'energia e delle risorse: dobbiamo ricorrere il meno possibile alle risorse materiali ed energetiche contenute negli stock ecologici ma spingerci sempre di più verso l'utilizzazione di risorse rinnovabili.

2

Le regole di sostenibilità dell'insediamento umano

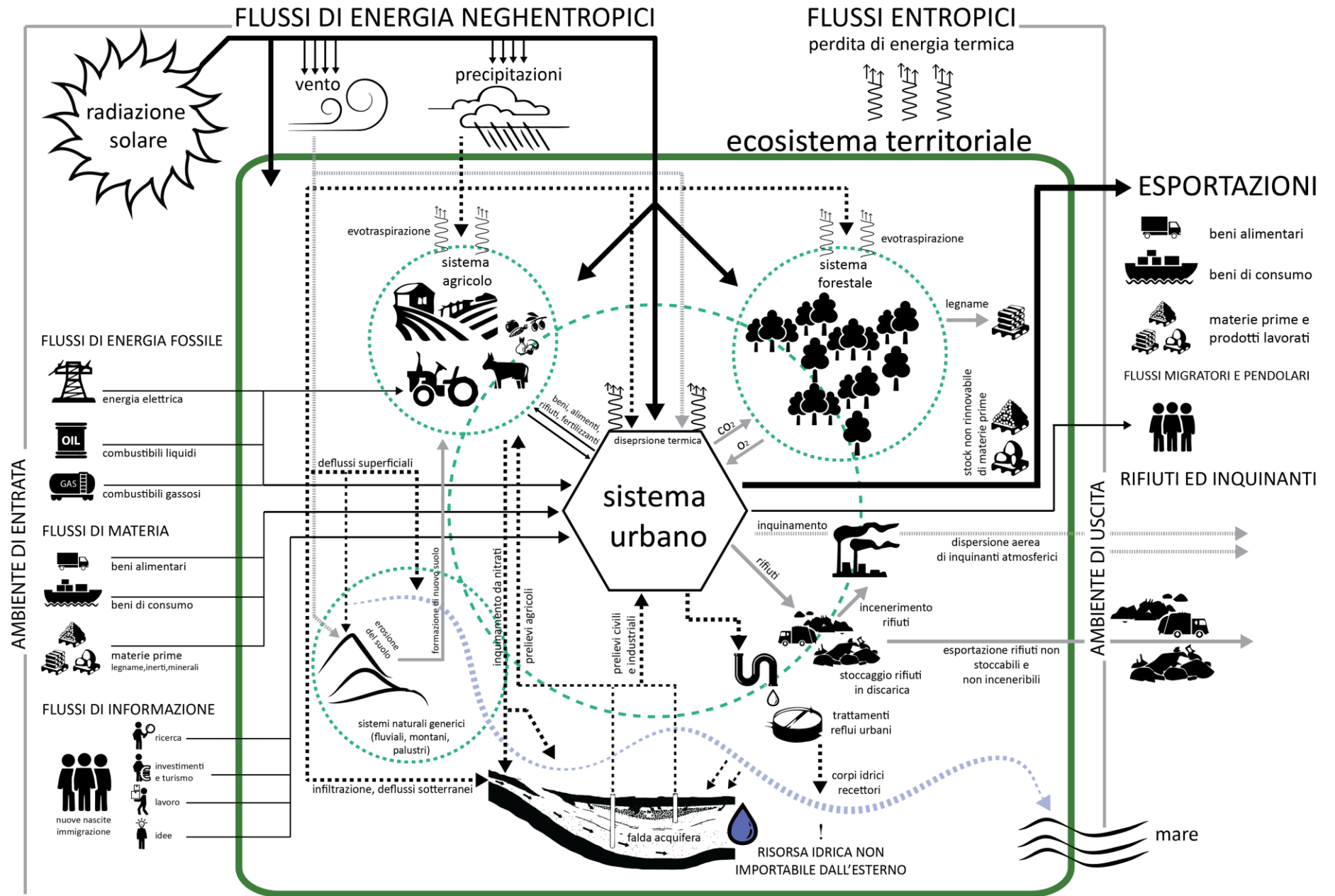
Abbiamo brevemente trattato il concetto di sostenibilità ed i suoi principi guida per un corretto governo del territorio. Nella pianificazione territoriale tali principi hanno prodotto, negli ultimi decenni, una serie di studi analitici sullo stato dell'ambiente (Rapporti ambientali, rete di monitoraggi, etc) volti a valutare le caratteristiche quantitative e qualitative degli insediamenti umani (prelievi, emissioni, pressione sugli ecosistemi naturali). Conoscere lo stato ambientale di un sistema però non è sufficiente per una valutazione della sua sostenibilità: occorre conoscere come si arriva a quel determinato stato ambientale, analizzando le dinamiche dei processi che sono stati necessari per raggiungerlo. Da questo tipo di approfondimento possiamo arrivare ad una valutazione della sostenibilità, o dell'insostenibilità dell'insediamento umano, come molto probabilmente sarà più constatabile. Dobbiamo quindi tentare di capire quali sono le dinamiche (passate, tendenti ed in atto) della società che inducono insostenibilità e di conseguenza, in fase progettuale, quali processi migliorativi saranno da intraprendere. Analisi di questo tipo, se unite ad una corretta valutazione e messa in rete del patrimonio territoriale e dei suoi saperi locali, possono fornire interessanti proiezioni sul futuro sostenibile dei nostri territori.

Occorre definire prima di tutto l'ambiente di riferimento degli insediamenti umani oggetto di studio, tenendo conto che il concetto di sostenibilità applicato all'ecosistema territoriale si lega profondamente a quello di ecologia umana. Possiamo definire quest'ultima come la *scienza interdisciplinare dell'insediamento urbano, in cui confluiscono non solo le conoscenze sociologiche, ma anche quelle mediche, psicologiche, ambientali, architettoniche* in cui *non hanno più importanza solo i rapporti di qualità basati sul lavoro e sulle relazioni umane, ma assumono un grande valore anche le variabili di tipo fisico, ecologico, biologico.*

In questo senso possiamo identificare l'insediamento umano come l'habitat della comunità umana stessa, un sistema ecologico vivente in cui si intrecciano da una parte le tematiche legate ai flussi di materia, energia, informazione, che attraversano il sistema; dall'altra le relazioni che si instaurano all'interno dell'insediamento tra i vari elementi biotici ed abiotici e le relazioni che il sistema oggetto di studio intrattiene con l'ambiente in cui è inserito. Interpretare l'insediamento umano come un ecosistema vivente significa quindi analizzare:

- le tematiche legate ai flussi di materia, energia, informazione, che attraversano il sistema insediativo;
- le relazioni che si instaurano all'interno dell'insediamento tra i vari elementi biotici ed abiotici;
- le relazioni che il sistema oggetto di studio intrattiene con l'ambiente di riferimento in cui è inserito;

Il nostro compito deve essere quello di riequilibrare la città rispetto al proprio ambiente di riferimento, ovvero il riequilibrio dell'ecosistema territoriale. Non dobbiamo però limitarci a considerare come sistema solo lo spazio costruito, ciò che consideriamo città. Introdurre il concetto di *ecosistema territoriale* significa considerare l'intero ecosistema città e i propri ambienti di entrata e di uscita (necessari a farlo funzionare termodinamicamente come sistema aperto): *l'ecosistema territoriale* comprende quello spazio (definito, delimitato, concluso) con il quale l'ecosistema urbano può svolgere le proprie funzioni vitali. La corretta definizione ed analisi dell'*ecosistema territoriale* diventa quindi basilare per valutare la sostenibilità dell'insediamento umano. Di seguito si riporta uno schema interpretativo sulla qualità dei flussi che attraversano un ecosistema territoriale: si instaurano una serie di relazioni tra città ed ambiente.



Schematizzazione interpretativa dei flussi di materia-energia-informazione in entrata ed in uscita dell'ecosistema territoriale

Altra premessa da fare è che la sostenibilità non è di per se un concetto misurabile in quanto non è un fenomeno fisico. Per riordinare insediamento e ambiente nel senso della progettazione ecologica le valutazioni entropiche che accenneremo in seguito non rappresentano delle leggi ineludibili e rigide (leggi deterministiche): esse hanno solo la funzione di indicare a priori delle vie tendenziali da seguire per puntare verso la sostenibilità ambientale. Dobbiamo quindi fornire nuovi strumenti, nuove visioni progettuali volti a stimolare la coscienza, capaci di generare processi co-evolutivi *sul territorio, per il territorio*.

Il campo di azione che si apre non è meccanicisticamente determinato; al contrario, è assolutamente aleatorio, dipendendo dall'interpretazione progettuale che ogni comunità storicamente determinata dà al sistema di equilibrio che intende raggiungere relazionandosi con il proprio ambiente di riferimento. Le soluzioni progettuali che possiamo adottare sono molteplici e si evolvono nel tempo: l'importante è riconoscere qui valori locali fatti di saperi, materiali, significati identitari che l'economia, globalizzandosi, tende a lasciare sullo sfondo; siamo convinti che tali valori possono divenire nuove *risorse*¹ per il riequilibrio ecologico.

¹ Parlando di risorse è bene ricordare che una risorsa non è una cosa ma una relazione che fa emergere alcune proprietà necessarie alla soddisfazione di bisogni. Una risorsa, insomma, è il prodotto di una relazione, di conseguenza non vi sono risorse naturali, ma solo materie naturali. [...]. Senza intervento esterno una materia resta quella che è. Una risorsa, in compenso, in quanto prodotto può evolversi costantemente, poiché il numero delle proprietà correlato a delle classi di utilità può crescere. L'Ecosistema territoriale come metodo considera le materie di un ambito territoriale quale dato e inventa nuovi possibili infiniti impieghi: utilizzando la materia, reinventa nuove utilità, chiudendo cicli, inventando risorse, costruendo nuovi equilibri. insomma, è il prodotto di una relazione, di conseguenza non vi sono risorse naturali, ma solo materie naturali. [...]. Senza intervento esterno una materia resta quella che è. Una risorsa, in compenso, in quanto prodotto può evolversi costantemente, poiché il numero delle proprietà correlato a delle classi di utilità può crescere. L'Ecosistema territoriale come metodo considera le materie di un ambito territoriale quale dato e inventa nuovi possibili infiniti impieghi: utilizzando la materia, reinventa nuove utilità, chiudendo cicli, inventando risorse, costruendo nuovi equilibri.

Le nostre valutazioni sull'insediamento non possono riguardare un sistema astratto di variabili, ma proprio quelle variabili che di volta in volta, di regione in regione, entrano nel gioco della progettazione: le peculiarità di ogni luogo possono dettare le regole di sostenibilità di quel luogo.

Occorre però fare una precisazione sul concetto di *sostenibilità* e quello di *auto sostenibilità*: le soluzioni di riequilibrio non possono più provenire da un apparato tecnologico generale, non vi sono più sistemi depurativi omologati, sistemi di produzione energetica ovunque validi, soluzioni di approvvigionamento idrico standardizzate; vi sono delle comunità, che conoscono i propri bisogni, e delle modalità di soddisfarli mediante l'uso delle caratteristiche ambientali del luogo in cui tali comunità sono insediate. Possiamo quindi parlare di *auto sostenibilità* quando viene raggiunta una tendenziale chiusura dei principali flussi di materia-energia a livello strettamente locale.

Supponiamo che le regole di lunga durata, le quali sostengono la composizione dello spazio locale e gestiscono i flussi di materia-energia, debbano essere ritenute invariante nel processo di generazione di un mondo locale: si segna quindi una distanza della *progettazione ecologica degli insediamenti umani* sia dai classici modelli progettuali di matrice ambientalista/naturalista, sia dai classici modelli progettuali di urbanistica funzionalista.

La definizione di regole di sostenibilità dei vari cicli ambientali (idrico, energetico, alimentare) ed il riconoscimento delle configurazioni spaziali di qualità, *quelle configurazioni che sostengono l'identità del luogo* (Alexander, 1979), e che generano il metabolismo urbano e rurale risultano, a nostro parere, propedeutiche per la progettazione urbana e territoriale.

Attraverso la decodifica dello spazio urbano e rurale come morfogenesi co-evolutiva della cultura dell'abitare locale, è possibile descrivere quelle regole generatrici, quelle configurazioni spaziali identitarie che rapportano

e relazionano la struttura, la funzione e qualità dell'abitare (Alexander, 2005).

Riteniamo dunque che soltanto attraverso un approccio bioregionale sia possibile assumere la gestione dei flussi locali di materia-energia come fondamento dell'equilibrio dinamico della vita dell'insediamento, come relazione intima tra le configurazioni spaziali (fisionomia) e la fisiologia locale (Lyle, 1994; Barton, Grant, Guise, 2010). Pertanto la bioregione risulta essere, a nostro parere, il sistema territoriale di riferimento per la costruzione di nuove visioni di sviluppo *autosostenibile*.



Esempio di scenario di area vasta su scala bioregionale

2.1

Definizione dell'ambiente di riferimento

Se nell'insediamento storico è forse individuabile per ogni sistema urbano un *ecosistema territoriale* (ad esempio la città murata ed il suo contado), per la città a combustibili fossili quello che dovremmo chiamare *ecosistema territoriale* per alcuni aspetti avrebbe un'estensione notevole (se pensiamo appunto alla diversa provenienza/destinazione dei flussi di entrata/uscita) e quindi perderebbe la propria importanza come strumento di analisi e di progetto (troppe porzioni del globo terrestre andrebbero a comporlo, simultaneamente). Nonostante questo, sebbene gran parte delle risorse che alimentano la città derivino da località molto distanti (beni di consumo), alcuni flussi di ingresso e di espulsione di materia-energia, avvengono ancora nell'ambiente locale di riferimento dell'insediamento urbano, come ad esempio:

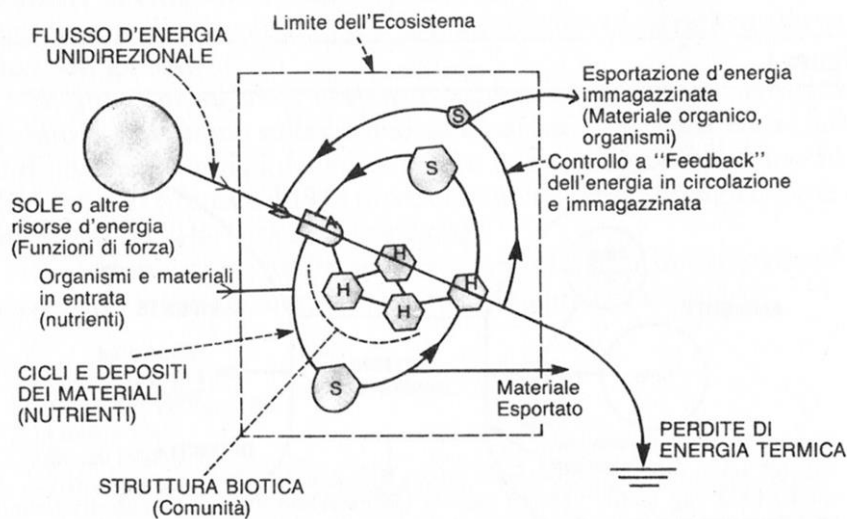
- l'approvvigionamento idrico;
- l'espulsione dei reflui urbani e dei rifiuti solidi;
- la produzione di inquinanti atmosferici;

I flussi alimentari invece continuano ad esser in maggior parte esterni all'ambiente locale di riferimento (dati i bassi costi di trasporto e le leggi di mercato) anche laddove ci siano condizioni di produzione locale, mentre i flussi energetici sono spesso prodotti esternamente, e se prodotti in loco utilizzano materie prime esterne (petrolio, gas, etc.); tali flussi potrebbero, tendenzialmente, provenire dall'ambiente locale avvalendosi della conoscenza (agricola e forestale) e del progresso tecnologico.²

² La pianificazione in questi ultimi anni sta tentando di sviluppare degli strumenti strategici e negoziati (Piani del cibo, Piani energetici), attraverso la realizzazione di filiere corte (alimentari ed energetiche). Queste filiere hanno lo scopo di ridurre quei flussi di materia/energia, generabili anche internamente al sistema, che oggi tendenzialmente provengono dall'esterno del sistema.

Nostro compito è proprio riordinare ecologicamente questi flussi in entrata e in uscita, tentando di ricostruire un rapporto fra insediamento urbano e ambiente di riferimento, rifondando cioè un *ecosistema territoriale* vivo ed attivo: un sistema di produzione locale di risorse per il metabolismo urbano, un sistema di nuova riappropriazione culturale e simbolica del territorio da parte degli abitanti, la costruzione di nuove sapienze locali per l'utilizzazione e la ri-generazione delle risorse patrimoniali. Se l'*Ecosistema territoriale* deve fornire le risorse vitali dell'insediamento umano, esso andrà definito di volta in volta in relazione al *contesto* nel quale ci troveremo a lavorare: ogni contesto propone le proprie varianti, riconoscibili solo dalla lettura delle caratteristiche *locali*.

Considerando un ecosistema composto da un sistema e dal suo ambiente di entrata e di uscita, seguendo gli insegnamenti di Odum al riguardo già citati nel Capitolo 1, possiamo tentare di ipotizzare i limiti dell'ambiente di riferimento.



Rappresentazione funzionale di un ecosistema. I maggiori componenti sono rappresentati da: flusso di energia, cicli di materiali, comunità e anello di retrocontrollo. La comunità è rappresentata da una rete alimentare costituita da autotrofi (A) ed eterotrofi (H), S indica l'energia immagazzinata (da Odum, 1984)

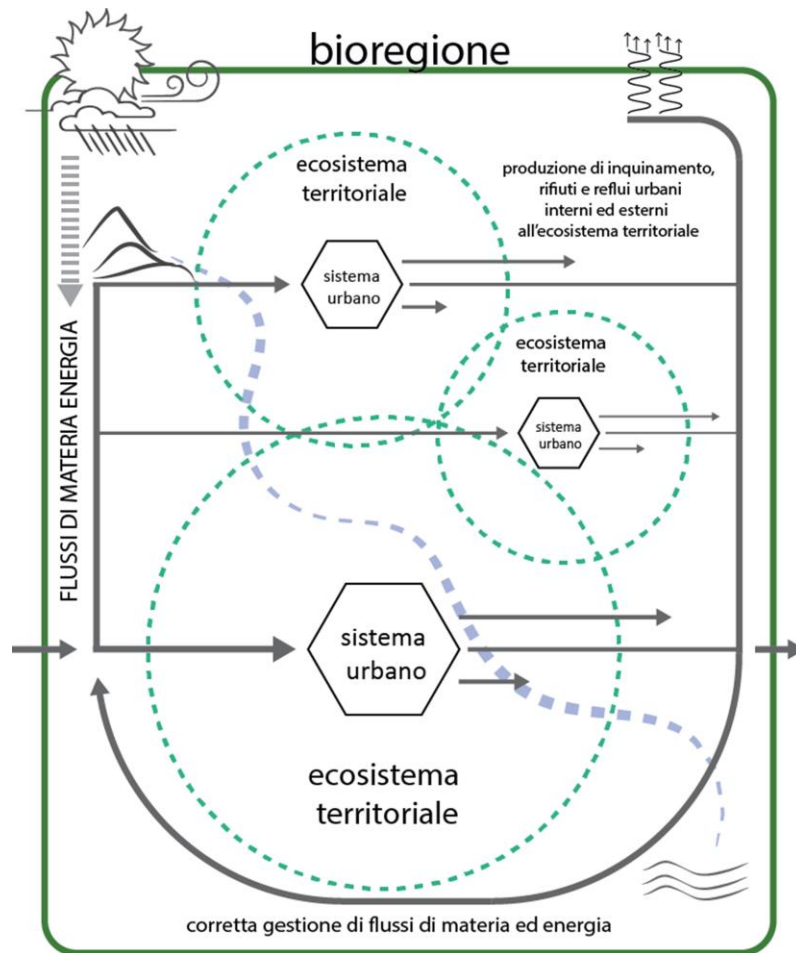
Se ci limitassimo ad individuare come confine le frange esterne dell'insediamento umano, ovvero quella parte di territorio in cui le ultime zone edificate lasciano il posto alle aree agricole non densamente costruite, e quindi chiamiamo sistema la parte intensamente urbanizzata e ambiente (d'entrata e d'uscita) dell'ecosistema le aree al suo esterno, avremmo un ecosistema particolare: la parte costruita dell'insediamento sembra infatti rispondere solo marginalmente alle caratteristiche di ciò che noi definiamo ecosistema³. Occorre quindi considerare, attraverso approcci di tipo bioregionale, anche il territorio utile al sostentamento del sistema urbano considerato.

Seppure leggere l'insediamento umano come un ecosistema naturale è funzionale al fine della nostra analisi, dobbiamo però tenere conto che l'insediamento umano presenta alcune peculiarità e differenze rispetto ai sistemi puramente naturali:

- i sistemi urbani sono attraversati da ingenti flussi energetici ma l'energia solare è solo marginale (sono predominanti i flussi derivati da combustibili fossili, carbone, petrolio, gas...);
- i sistemi urbani sono interessati da tematiche che interessano aspetti quali la dinamica delle popolazioni, il rapporto fra struttura abiotica e biotica, le problematiche sociologiche, culturali, la qualità architettonica dell'ambiente urbano, le caratteristiche mediche e psicologiche, etc...
- i sistemi urbani sono caratterizzati da ingenti flussi di materia, energia ed informazione che provengono anche da ambienti molto lontani fisicamente dal sistema stesso e subiscono trasformazioni in quantità e ritmi sconosciuti in natura.

³ Si ricorda che gli ecosistemi naturali vengono attraversati principalmente dall'energia radiante del sole, che essi restituiscono sotto forma di energia termica di bassa qualità; sono interessati da ingressi secondari di organismi e materiali (con funzione nutriente) e da eventuali uscite di materiale organico; attivano al proprio interno dei complessi meccanismi cibernetici di autoregolazione (catene alimentari, dinamiche di popolazione, cicli dei materiali ecc.).

In sintesi, la bioregione si può considerare come unico luogo in cui è possibile ripensare ad una corretta gestione dei flussi di materia-energia (Capra, 2005). L'ecosistema territoriale deve essere considerato come l'ambiente locale minimo entro il quale valutare (e governare) un equilibrio dinamico delle varie attività umane dell'insediamento umano oggetto di studio.



Rappresentazione schematica tra ecosistemi territoriali e bioregione

2.2

Relazioni tra insediamento umano e sistemi ambientali

Fissato il concetto che un ecosistema, per mantenere al proprio interno un'alta organizzazione, ha bisogno di relazionarsi con il proprio ambiente di entrata ed estrarvi continuamente materia-energia e informazione, proviamo adesso a capire quali possono essere tali relazioni. Prendiamo il caso dei flussi energetici: questi flussi in entrata permettono a tutti gli organi o organismi che compongono il sistema di poter funzionare (una foresta, per esempio, si nutre dell'energia solare per poter attivare il metabolismo legato alla fotosintesi clorofilliana).

L'energia che entra in un sistema, dopo che è stata sfruttata per le funzioni vitali, viene comunque resa all'ambiente di uscita come energia termica non disponibile: per poter attivare le proprie funzioni e mantenere la propria organizzazione interna, un sistema vivente utilizza energia di alta qualità e rende energia di qualità più bassa, producendo una trasformazione entropica della stessa energia. Per nutrire un qualsiasi sistema vivente (ecosistema naturale, o artificiale come l'insediamento umano) deve esserci un luogo dal quale estrarre materia-energia a bassa entropia e un altro in cui riversare materia-energia ad alta entropia.

Mentre un ecosistema artificiale come una città spesso non riesce a trasformare e "ordinare" in modo virtuoso (cioè in grado di produrre bilanci positivi) i flussi di energia-materia che la attraversano (producendo alta entropia), gli ecosistemi naturali hanno delle caratteristiche fondamentali per riequilibrare il sistema e garantiscono quindi il flusso neghentropico⁴.

⁴ Il flusso di neghentropia (entropia negativa = organizzazione) può intendersi come flusso (o l'insieme di più flussi) che alimenta il sistema vivente e che si traduce in una produzione di entropia (=disordine, degrado, dissipazione) nell'ambiente in cui il sistema vivente è immerso: per la cellula l'ambiente è il tessuto, per il tessuto l'ambiente è l'organismo, per l'organismo l'ambiente è l'ecosistema, per l'ecosistema l'ambiente è l'ecosfera; per l'ecosfera l'unico flusso neghentropico è la radiazione solare, che quindi costituisce l'ambiente [...] (Butera, 1991).

A questo proposito ricordiamo che gli ecosistemi naturali, pur essendo caratterizzati da proprietà e modalità di funzionamento complesse, sono oggetti studiabili, di cui si possono stimare i ritmi di crescita, tassi di rigenerazione e velocità di smaltimento. Quindi raggiungere la sostenibilità non è più soltanto riconducibile ad atteggiamenti volti alla mitigazione degli impatti o alla loro riduzione – il ruolo passivo degli ecosistemi naturali - quanto ad un corretto uso dei servizi erogati dalla natura stessa – ruolo attivo degli ecosistemi naturali. Di seguito si riportano alcuni servizi ecologici forniti dai sistemi naturali.

Il ruolo attivo degli ecosistemi naturali: i servizi ecosistemici

Negli ultimi decenni gli studi nel campo della biologia e dell'ecologia hanno dimostrato che l'insieme degli ecosistemi fornisce un grandissimo numero di servizi ecologici, vitali per la sopravvivenza della specie umana (e non solo). Il ruolo degli ecosistemi naturali è tutt'altro che passivo, la pianificazione territoriale e la progettazione ecologica degli insediamenti umani non può tralasciare tali aspetti, che incidono direttamente sull'ecosistema territoriale di riferimento:

- la cattura dell'energia solare e la successiva messa a disposizione sotto forma di biomassa (utile per fini energetici);
- la regolazione del ciclo dell'acqua (diminuzione dei rischi idrogeologici ed idraulici, aumento della disponibilità della risorsa a livello locale);
- la fissazione dell'azoto nei suoli (diminuzione degli apporti di fertilizzanti azotati di origine sintetica);
- la decomposizione ed il riciclo dei rifiuti organici;
- il controllo dell'inquinamento, tra cui la depurazione dei reflui urbani e dell'atmosfera;
- il controllo biologico di malattie ed infestazioni;
- l'impollinazione, utile a garantire alti livelli di biodiversità.
- la regolazione della composizione dell'atmosfera (O₂, CO₂, etc.)
- la regolazione del clima;
- la formazione del suolo;
- la fissazione dei terreni ed il controllo dell'erosione;

Una coerente definizione delle relazioni che intercorrono tra insediamenti e sistemi ambientali deve considerare anche tali servizi ecosistemici, analizzando e confrontando i tassi con cui tali servizi sono richiesti dall'uomo con i ritmi naturali di erogazione. Si potrà quindi definire una regola sostenibile quell'azione che comporta un utilizzo, diretto e/o indiretto dei servizi naturali, con un tasso inferiore o uguale a quello proprio di erogazione da parte della natura.

Quindi analizzare l'ecosistema urbano senza porsi il problema di definire luoghi e flussi di input e di output (le relazioni tra sistema insediativo ed ambiente) vuol dire dimenticarsi di uno dei problemi essenziali: non esiste ecosistema urbano, non esiste metabolismo dell'insediamento umano se non viene individuato il flusso neghentropico che permette la vita. Occorre quindi definire concretamente l'ambiente di entrata e di uscita del sistema.

Riteniamo dunque che il maggior contributo dell'analisi e del progetto dell'insediamento umano come ecosistema sia proprio nello studio di queste relazioni; si tenterà perciò di definire alcuni bilanci? sui flussi che andremo ad analizzare. La metodologia da seguire, attraverso l'applicazione di alcuni concetti che saranno analizzati successivamente, consiste nella definizione di regole che in qualche modo vadano ad incidere positivamente sulla sostenibilità dei bilanci considerati.

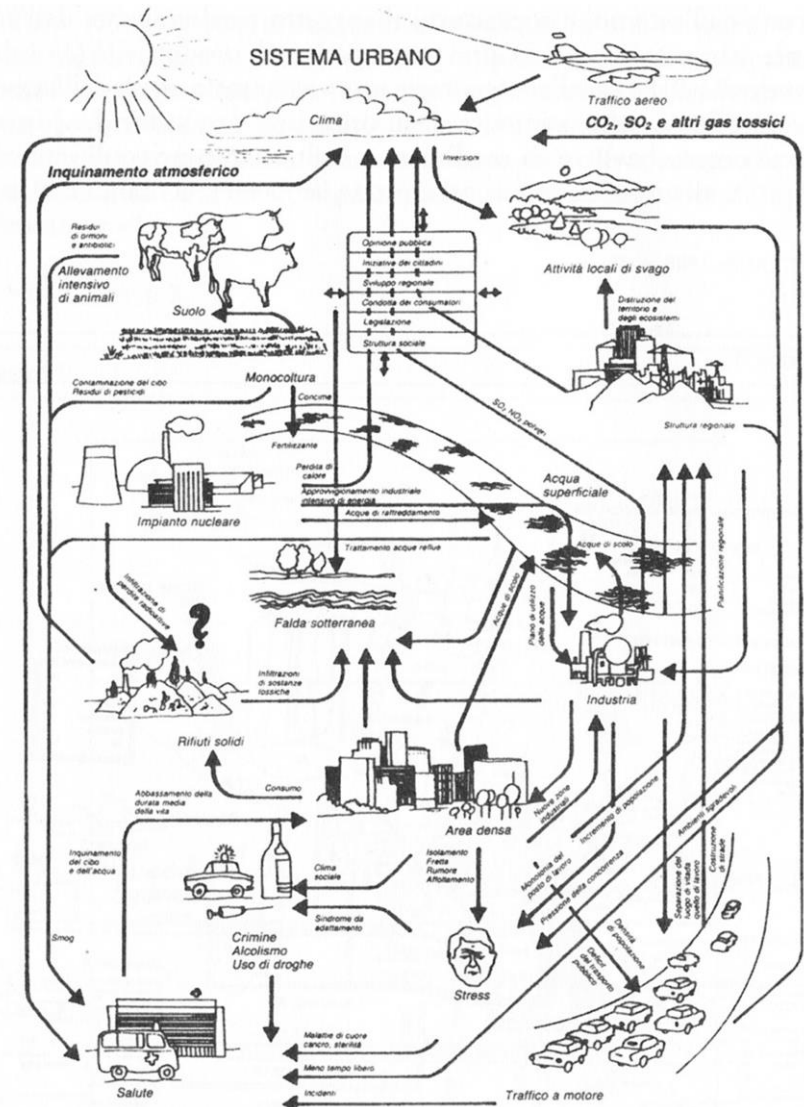
Infatti l'ecosistema urbano si è storicamente sviluppato inserendosi nei cicli bio-geo-chimici dell'ambiente limitrofo, sfruttandone lo sviluppo naturale e la lenta trasformazione nel tempo, mutandone solo marginalmente (addomesticando) le caratteristiche qualitative o quantitative del proprio ambiente di riferimento. Negli ecosistemi naturali che costituiscono l'ambiente d'entrata del nostro ecosistema urbano, esso agisce asportando biomassa in modo che automaticamente si riproduca (con la caccia, con la pesca, con la raccolta dei prodotti naturali), oppure addomesticando il sistema ambientale mediante trasformazioni vegetazionali (sviluppando un'agricoltura che adotta specie locali, permettendo la reversibilità delle trasformazioni (capacità dell'ecosistema di ritornare nelle condizioni

primitive); o ancora sfruttando la capacità dell'ecosistema naturale di ristabilire la sua forma climax, mantenendo il sistema ambientale in fasi evolutive intermedie (ad esempio sfruttando la capacità di riproduzione del bosco per via pollonifera).

Per fare una sintesi del comportamento e delle relazioni storicamente instaurate tra ecosistema urbano ed ambiente di riferimento, proviamo ad analizzare il modello dell'insediamento umano prima e dopo la dipendenza dai combustibili fossili:

Storicamente l'ambiente di entrata (perlomeno quello della maggioranza della materia-energia) era localizzabile intorno agli insediamenti umani: non essendoci a disposizione energia a basso costo per trasporti su lunghi tratti, prima dell'avvento dei combustibili fossili, all'insediamento umano non restava che sfruttare al meglio l'intorno ambientale per produrre risorse materiali ed energetiche utili al proprio metabolismo. Proprio per questo l'ambiente di uscita era sempre limitrofo all'insediamento, perché nessuno poteva spendere energia inutile per disperdere altrove i rifiuti materiali ed energetici del metabolismo. Negli insediamenti umani non interessati dall'utilizzazione dei combustibili fossili, lo sfruttamento dell'ambiente di entrata avveniva il più delle volte con modalità che oggi definiremmo *ecologiche*. Gli ecosistemi naturali venivano addomesticati e resi utili alle esigenze umane, senza che necessariamente si giungesse alla loro riduzione o distruzione. Anzi, la vitalità di un insediamento era data anche dalla sua capacità di far fruttare il patrimonio ecosistemico del proprio intorno ambientale. Anche la necessaria produzione di rifiuti del sistema urbano era quasi totalmente reintegrata nell'ambiente di uscita. Si instaurava un ciclo di utilizzazione della materia-energia che estratta dall'ambiente, veniva, per mezzo dei rifiuti, riutilizzata nell'ambiente stesso: *ambiente di entrata e di uscita tendevano a sovrapporsi, legati da cicli chiusi di utilizzazione della materia-energia*. (Saragosa, 1995)

Prima della dipendenza dai combustibili fossili, vi era perciò un limite allo sviluppo dell'insediamento: una volta raggiunta la capacità di carico dell'ambiente di riferimento la città poteva ritenersi conclusa. Necessità produttive, demografiche, militari, costituivano la fondazione di nuovi insediamenti in luoghi diversi.



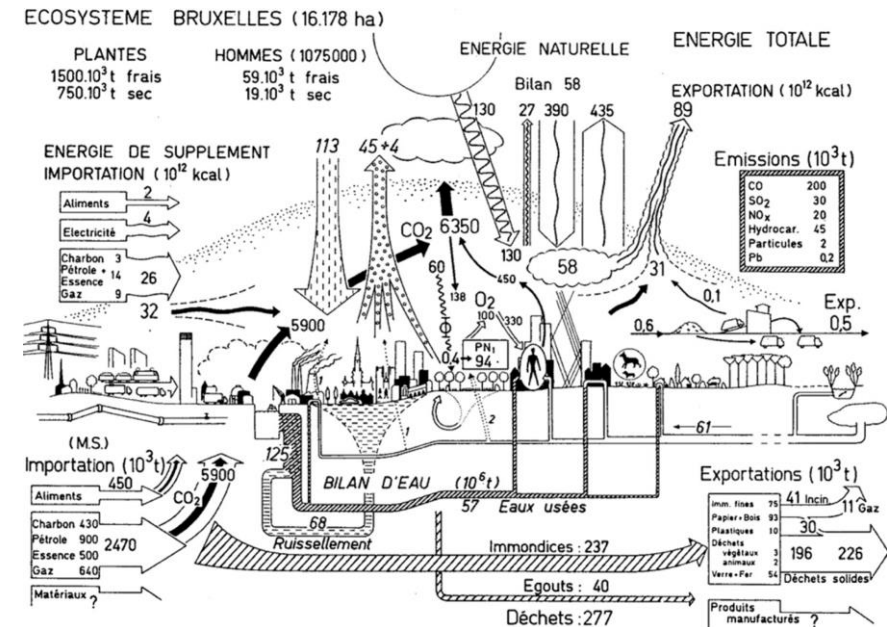
Modello urbano con illustrata la complessità delle interazioni che intercorrono tra le varie componenti di un sistema urbano e tra insediamento urbano ed il suo hinterland (Bruxelles)

Con l'avvento dei combustibili fossili iniziano quelle trasformazioni in grande scala che hanno modificato gran parte dei sistemi antropizzati della Terra, dagli insediamenti alle colture agricole. Ciò ha consentito, senza ombra di dubbio, di raggiungere alti livelli di produzione (prima di tutto alimentare) consentendo lo sviluppo demografico ed il progresso tecnologico nella maggior parte dei settori (medicina, chimica, meccanica, elettronica, etc.). Purtroppo nel campo di nostro interesse (architettura ed urbanistica) questo progresso, avvenuto in un lasso di tempo veramente breve se considerate le dinamiche di lungo periodo che hanno generato la struttura insediativa dei nostri territori e delle nostre città, ha generato delle criticità crescenti, talvolta irreversibili, che non contribuiscono di certo ad aumentare la qualità della vita degli abitanti insediati:

Con l'uso sempre più accentuato dei combustibili fossili (carbone prima, petrolio e gas dopo, e infine energia nucleare) gran parte delle relazioni tra insediamento e suo ambiente di riferimento sono andate scomparendo. Nell'ecosistema urbano industrializzato ad alta intensità energetica il flusso di materia-energia capace di garantire vita e sopravvivenza all'insediamento deriva da un ambiente sempre più vasto, così da rendere praticamente inutile il legame con l'ambiente di riferimento. Il più delle volte, nei sistemi urbani a combustibile fossile accade che l'ambiente di entrata e di uscita di un insediamento umano corrisponda a vaste aree del pianeta talvolta lontanissime. Su queste aree la città non ha più nessun controllo: i flussi di materia-energia sono guidati dalle leggi economiche della domanda e dell'offerta e lo sfruttamento delle risorse avviene in modo da rispondere all'ottimizzazione dei costi sul mercato internazionale, piuttosto che nella valutazione delle modalità e delle capacità di autoregolazione dei sistemi ambientali (Saragosa, 1995).

La dipendenza dai combustibili fossili ha superato quel "limite allo sviluppo" storicamente dato dalla disponibilità in loco delle risorse, gli insediamenti necessitano sempre più di vaste aree del pianeta con cui non hanno nessuna relazione: un caso emblematico è sicuramente quello dei rifiuti, che nella maggior parte dei casi vengono trasportati in aree lontane (dato che il trasporto ha costi bassissimi, usufruendo del flusso energetico fossile)

in modo da non danneggiare il sistema produttore, oppure scaricati nelle pertinenze del sistema urbano, senza innescare meccanismi di decomposizione o riciclaggio, influenzando in maniera negativa sulla salute e sulla qualità dell'abitare.



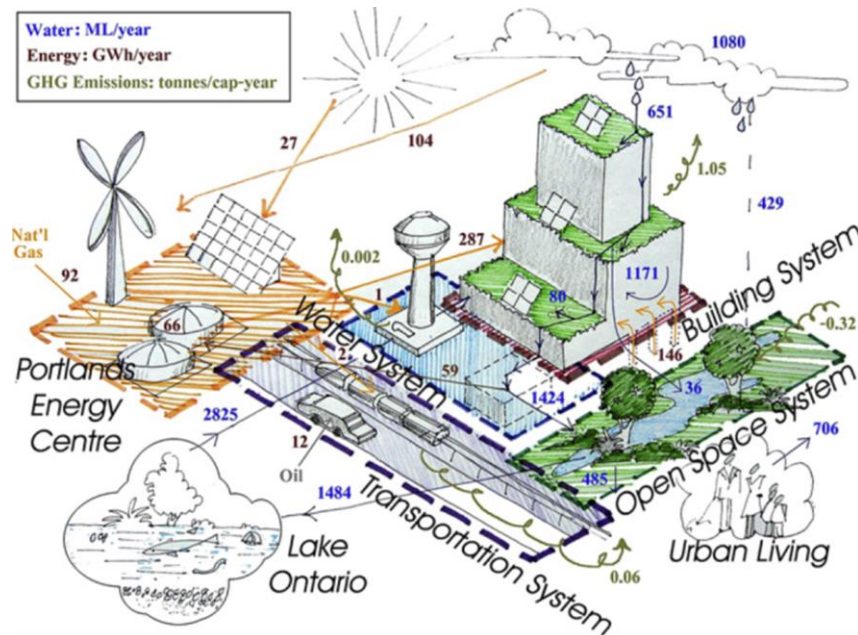
Struttura e metabolismo dell'ecosistema urbano di Bruxelles attraverso l'analisi quantitativa dei flussi che attraversano l'insediamento.

Insomma, se analizziamo i flussi di materia in entrata e in uscita dell'insediamento a combustibili fossili ci accorgiamo immediatamente della sostanziale mutazione subita dall'ecosistema territoriale, e in special modo dai propri ambienti di entrata e di uscita.

Ci teniamo però a precisare che l'insediamento umano può crescere mantenendo un'organizzazione complessa al proprio interno e un equilibrio nel proprio intorno sfruttando il flusso energetico solare (materializzato nelle suddette varie forme) catturato da un ambiente d'entrata di pertinenza, e rendendo un flusso energetico (materializzato in rifiuti

biodegradabili, dato che i materiali provengono essenzialmente dall'ecosistema) facilmente reintegrabile in un ambiente d'uscita. Le politiche volte al riciclaggio ed al riuso dei materiali sono un classico esempio e, laddove correttamente gestite, generano nuove economie che possono avere una certa rilevanza al livello locale.

Anche le politiche energetiche, sebbene ancora distanti da una pianificazione sostenibile basata sulla valorizzazione del potenziale bioenergetico locale, stanno muovendo in questa direzione. Le nuove tecnologie nel settore (produzione energetica da fonti rinnovabili, efficientamento energetico negli edifici ed idrico nelle tecniche agricole, riciclaggio dei materiali e recupero dei reflui, etc.), se ben applicate, possono contribuire in modo sostanziale ad un'inversione di tendenza.



Un esempio di gestione sostenibile dei flussi che attraversano l'insediamento umano focalizzato su un complesso residenziale. Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Toronto.

3

Il bilancio entropico come indicatore per la valutazione della sostenibilità

A livello metodologico l'ecosistema territoriale deve essere considerato come *valore* e come *limite*; si tratta quindi di valutare le potenzialità e le risorse patrimoniali della struttura ambientale come *valore* capace di stimolare il rapporto con l'uomo, capace generare nuove economie locali attraverso la rigenerazione dei flussi di cui si nutre, ed allo stesso tempo considerare tale struttura come *limite* posto incondizionatamente all'attività umana, limite inteso appunto come la capacità di carico oltre cui il sistema (come nella maggior parte dei casi) diviene insostenibile.

Abbiamo visto come la valutazione della sostenibilità è strettamente legata all'analisi di un sistema, più o meno complesso, in tutte le sue componenti e relazioni, prendendo in considerazione le risorse che lo alimentano, i processi di trasformazione che avvengono al suo interno e gli output immessi nell'ambiente di riferimento.

Definire quindi un indicatore volto a misurare la sostenibilità di un sistema insediativo non è un compito facile. Tali indicatori infatti devono necessariamente andare oltre i tradizionali indicatori ambientali, non devono più essere riferiti ad aspetti economici e sociali da una parte ed aspetti ambientali dall'altra, l'uno separato dall'altro senza relazionarne le reciproche connessioni. La misura della sostenibilità, come abbiamo già accennato in precedenza, impone la transizione da un approccio puramente *riduzionistico* ad uno prevalentemente *olistico*: vale a dire il passaggio da una visione focalizzata su di un particolare settore ad una che allarga i suoi orizzonti, abbracciando tutta la complessità del sistema...temi come la perdita di biodiversità, la valutazione del capitale naturale, o il bilancio dei gas climalteranti, dovrebbero essere inclusi nei processi di pianificazione in quanto sono parte integrante e insostituibile del sistema.

Quando parliamo di pianificazione multisetoriale intendiamo proprio iniziare a considerare anche questi aspetti, riconoscibili soltanto attraverso approcci multidisciplinari. La progettualità che ne deriva sarà sicuramente più idonea ad affrontare e risolvere le problematiche del futuro.

Pertanto qualsiasi voglia criterio di valutazione della sostenibilità, per essere definito tale, deve necessariamente essere caratterizzato da un alto numero di relazioni (*sistemico*) e dal parametro tempo (*evolutivo*). A tale scopo in questi ultimi anni, a livello internazionale, molti gruppi interdisciplinari hanno messo a punto nuovi indicatori e metodologie⁵ per definire dei criteri di valutazione della sostenibilità. Possiamo ricordare, per fare alcuni esempi, l'analisi del ciclo di vita (*life cycle analysis*), l'analisi eMergetica (*eMerger analysis*), l'impronta ecologica (*ecological footprint*), la valutazione del capitale naturale e dei servizi degli ecosistemi (*natural capital*), l'analisi exergetica (*exergy analysis*), il bilancio dei gas serra (*greenhouse gas inventory*), l'analisi di dati dal satellite (*remote sensing*), la contabilità ambientale e altre ancora.

Da questo si capisce come possa essere essenziale l'integrazione fra tutte le informazioni ricavate da ogni indicatore, per riuscire a coniugare l'esigenza di avere un quadro di insieme omnicomprensivo, che sia quanto più fedele

⁵ Si tratta di diverse famiglie di indicatori che sono in grado di dare risposte diverse sia per quanto riguarda il tipo di analisi (a), sia per quanto riguarda i sistemi a cui possono essere applicati (b). In particolare :

- a) indicatori di tipo energetico, ecologico, eco-economico, termodinamico e relativi ad analisi del territorio, di eco-sistemi, di produzioni agricole (agro-alimentari, agro-forestali), di produzioni industriali, del ciclo dei rifiuti , dei cicli bio-geo-chimici globali (clima, acqua ecc.);
- b) i sistemi che possono essere studiati vanno dalla singola fattoria agricola alla dimensione regionale, dalla città al territorio di un'intera provincia, da una produzione industriale all'attività turistica. Sono indicatori sia di processo che di prodotto e forniscono la base scientifica indispensabile per la successiva certificazione ambientale di un Comune, di una Provincia, di una produzione industriale, di un prodotto agro-alimentare ecc. (Tiezzi, e-book, Gli indici della sostenibilità, un manuale. Dipartimento di scienze tecnologiche e chimiche dei biosistemi, ricerche ARCA, http://www.agenda21.provincia.siena.it/upload_settori/manuale%20Tiezzi.pdf

alla realtà, con la possibilità però di poter focalizzare separatamente uno o più aspetti del sistema. A tutt'oggi, la sostenibilità degli insediamenti umani viene valutata attraverso questi indicatori, che ci forniscono alcuni aspetti per sondare la sostenibilità di particolari situazioni insediative: uno dei concetti più interessanti che oggi abbiamo a disposizione per fare delle analisi complessive è quello di entropia.

Per mantenere sostenibili gli insediamenti umani, e più in generale perché le attività umane siano da considerarsi sostenibili, è dunque necessario realizzare dei *bilanci entropici*, gli unici in grado di garantire la continua disponibilità di risorse per l'evoluzione della vita.

Sebbene il concetto di entropia, al di là delle sue applicazioni nella fisica, sia ancora controverso, tenteremo di usarlo per costruire un sistema semplificato di valutazione della sostenibilità ambientale. Il presupposto dal quale partiamo è che si possono giudicare criticamente gli effetti di produzione entropica generati dai flussi di materia-energia e informazione fra ambiente e insediamento. Ogni flusso, infatti, può essere valutato dal punto di vista entropico, dato che ogni trasformazione ha effetti di variazione qualitativa degli elementi che entrano in gioco.

In una varietà di possibili utilizzazioni alternative di tali elementi è possibile distinguere usi più o meno sostenibili. Se attraverso l'analisi di un ecosistema territoriale vediamo che una data utilizzazione di un flusso in ingresso (es. il consumo di beni alimentari) produce un bilancio complessivo che genera più entropia (rifiuti stoccati in discarica o inceneriti), possiamo definirlo meno sostenibile di uno medesimo sistema in cui il flusso in ingresso, dopo la sua utilizzazione , ne produce meno (compostaggio dei rifiuti organici e riciclo o riuso dei materiali di imballaggio degli stessi).

Quindi un bilancio complessivo che genera più entropia è meno sostenibile e, per converso, uno meno entropico, attraversato dai medesimi flussi in ingresso, lo è di più.

La valutazione entropica che possiamo elaborare per le analisi dell'insediamento umano è molto legata agli aspetti fisici dell'energia e della materia, agli aspetti misurabili della teoria dell'informazione o agli aspetti metaforici del concetto della stessa entropia.

Di seguito si propone sinteticamente ed a puro titolo esemplificativo, alcuni indicatori sulla sostenibilità che negli ultimi anni hanno acquisito crescente peso a livello nazionale ed internazionale. L'analisi emergica e l'impronta ecologica che andremo a trattare sono delle metodologie che possono essere applicate in modo interscalare (da una scala di quartiere/urbana ed una scala regionale/nazionale)⁶.

Quello che interessa a noi è capire quali e quanti flussi possono essere generati, ri-generati e re-integrati da e nell'ecosistema territoriale di riferimento, tentando di fornire successivamente delle soluzioni progettuali che in qualche modo vadano ad incidere positivamente sui bilanci complessivi dei territori in analisi. Come già accennato, questo tipo di analisi devono servire a far maturare sensibilità e coscienza di una data popolazione, con particolare attenzione alle pubbliche amministrazioni che gestiscono i processi di trasformazione del territorio. Gli aspetti che ne emergono possono guidare nella scelta di principi pianificatori e progettuali volti ad aumentare la sostenibilità dei nostri ecosistemi territoriali.

⁶ Ad ogni modo il limite di queste analisi consiste nel reperimento dei dati, la maggior parte dei quali sono aggregati secondo le suddivisioni amministrative (es Regioni, Province, nel migliore dei casi a livello comunale).

3.1

L'analisi emergica

L'analisi emergica (emergy analysis) è una metodologia termodinamica introdotta negli anni '80 da H.T. Odum, docente presso la Facoltà di ingegneria ambientale dell'Università della Florida, il cui fine consiste nell'analizzare il grado di organizzazione e di complessità dei sistemi aperti che si riscontrano in natura.⁷ L'analisi considera sia gli aspetti economici sia quelli ambientali di un processo, del prodotto che se ne ottiene o più in generale di un intero sistema di processi, al fine di valutarne la sostenibilità. La metodologia che sta alla base di questo tipo di analisi si basa nel considerare i differenti input che alimentano un dato sistema, su di una base energetica comune su cui si basa l'esistenza stessa del nostro pianeta, ovvero l'energia solare. Tale forma di energia è da considerarsi come energia di base che muove tutti i processi che si verificano nella biosfera⁸.

L'energia è dunque una grandezza termodinamica, e si definisce appunto come la capacità di compiere "lavoro", e può essere trasformata da una forma ad un'altra (da termica, idrica, cinetica ad elettrica, per esempio), può essere conservata e può essere trasferita da un sistema ad un altro. La quantità di energia solare equivalente necessaria, direttamente o indirettamente, per ottenere un flusso di energia per un dato processo (naturale o artificiale che sia) o per un dato prodotto (inclusa la capacità di ri-generare/assorbire tale prodotto una volta consumato), viene definita emergia: si tratta di una grandezza che dipende dalle dimensioni del sistema di riferimento preso in analisi e la sua unità di misura è il solar emergy joule (sej).

⁷ cioè sistemi in grado di scambiare energia e materia con l'esterno

⁸ La biosfera, in biologia, è definita come l'insieme delle aree della Terra in cui le condizioni ambientali permettono lo sviluppo della vita; comprende quindi la porzione esterna della litosfera (suolo e parte del sottosuolo), l'idrosfera (le acque marine, i sistemi lacustri e fluviali), ed i primi strati dell'atmosfera (fino ad una altitudine di circa 10 km).

Generalmente, per ogni sistema diversi input di energia di qualità inferiore come l'energia solare sono necessari per dar luogo a tipi di energia di qualità superiore, come ad esempio la biomassa prodotta dalle piante tramite la fotosintesi, e a sua volta l'energia elettrica ottenuta dal calore del carbone (derivato appunto dalle biomasse vegetali) etc..

Si può quindi dire che un joule (l'unità di misura dell'energia in senso di capacità di "compiere un lavoro") di energia solare, un joule di carbone e un joule di energia elettrica, anche se rappresentano la stessa quantità di energia, hanno qualità diverse che determinano potenzialità e capacità di trasformazione diverse.

Le tradizionali analisi energetiche ed economiche spesso trascurano gli input che non sono in grado di valutare su una base energetica o monetaria: differenti input con diverse unità di misura (kg di minerali, kWh di elettricità, mc di metano, ore di lavoro umane) rendono di fatto impossibile fare un bilancio completo. Proprio perché, in senso termodinamico, molti joule di energia di bassa qualità sono necessari per ottenere pochi joule di qualità superiore, è stato introdotto il concetto di *transformity*, ovvero la quantità di energia di un tipo necessaria per ottenere un joule di un altro tipo: la *transformity* di un prodotto o di un flusso è tanto più elevata quante più trasformazioni sono necessarie per ottenerlo.

Per la conversione degli input e dei flussi di energia di diversa origine, che alimentano un dato sistema in termini di energia solare equivalente (emergia) è utilizzato un coefficiente di conversione chiamato *solar transformity*⁹: poiché durante ogni processo di trasformazione l'energia decresce (dispersione, entropia) e l'emergia cresce (aumento di energia utilizzata) la *transformity* è un indicatore estremamente sensibile. Il valore della *transformity* assume quindi un ruolo discriminante nel valutare l'efficienza dei diversi scenari, ad esempio per la produzione di un bene o di

un servizio: quanto più basso risulterà il valore della *transformity*, tanto più in un processo si riesce a sfruttare efficientemente ed in modo razionale le risorse a che abbiamo a disposizione.

Voce	Transformity o eMergia/massa	Referenze
Energia solare	1 sej/J	Odum H. T., 2000 Folio 1 [1]
Pioggia	1,45x10 ⁵ sej/g	Odum H. T., 2000 Folio 1 [1]
Vento	2,47x10 ³ sej/J	Odum H. T., 2000 Folio 1 [1]
Calore geotermico	1,20x10 ⁴ sej/J	Odum H. T., 2000 Folio 1 [1]
Ghiaia	1,68x10 ⁹ sej/g	Odum H. T., 2000 Folio 1 [1]
Sabbia	1,68x10 ⁹ sej/g	Odum H. T., 2000 Folio 1 [1]
Argilla	1,68x10 ⁹ sej/g	Odum H. T., 2000 Folio 1 [1]
Calcare da inerti	1,68x10 ⁹ sej/g	Odum H. T., 2000 Folio 1 [1]
Arenarie da inerti	1,68x10 ⁹ sej/g	Odum H. T., 2000 Folio 1 [1]
Erosione del suolo	1,24x10 ⁵ sej/J	Odum H. T., 2000 Folio 1 [1]
Acqua	1,95x10 ⁶ sej/g	AA. VV. Provincia Bologna, 2001 [2]
Benzina, gasolio	1,11x10 ⁵ sej/J	Susani L. 2001 [3]
Olio combustibile, gpl	9,12x10 ⁴ sej/J	Susani L. 2001 [3]
Gas naturale	8,11x10 ⁴ sej/J	Susani L. 2001 [3]
Elettricità termoelettrica	2,05x10 ⁵ sej/J	Tiezzi et al., 2001 [4]
Elettricità idroelettrica	5,47x10 ⁴ sej/J	Tiezzi et al., 2001 [4]
Elettricità eolica	2,70x10 ⁴ sej/J	Tiezzi et al., 2001 [4]
Cereali	2,67x10 ⁵ sej/J	Odum H. T., 1992 [5]
Legumi	1,75x10 ⁵ sej/J	Ulgianti S., H.T. Odum, S. Bastianoni, 1993 [6]
Frutta	4,82x10 ⁵ sej/J	Ulgianti S., H.T. Odum, S. Bastianoni, 1993 [6]
Vegetali filamentosi	1,24x10 ⁶ sej/J	Brant-Williams S.L., 2000. Folio 4 [7]
Semi	1,33x10 ⁶ sej/J	Ulgianti S., H.T. Odum, S. Bastianoni, 1993 [6]
Spezie e tabacco	1,75x10 ⁵ sej/J	Ulgianti S., H.T. Odum, S. Bastianoni, 1993 [6]
Piante e fiori	4,74x10 ⁹ sej/g	Tiezzi et al. 1, 2000 [8]
Allevamenti zootecnici	5,33x10 ⁶ sej/J	Ulgianti S., H.T. Odum, S. Bastianoni, 1994 [9]
Silvicoltura	1,68x10 ⁸ sej/g	Brown M.T., J.E. Arding, 1991 [10]
Caccia e pesca	2,27x10 ⁸ sej/g	Tiezzi et al. 2, 2000 [11]
Minerali metalliferi	1,68x10 ⁹ sej/g	Odum H. T., 2000 Folio 1 [1]
Minerali non metal.	1,68x10 ⁹ sej/g	Odum H. T., 2000 Folio 1 [1]
Industria alimentare	5,47x10 ⁵ sej/J	Joansson et al., 2000 [12]
Industria del tabacco	4,74x10 ⁹ sej/g	Tiezzi et al.1, 2000 [8]
Industria pelle e cuoio	1,44x10 ⁷ sej/J	Odum H.T. and Odum E.C. 1987 [13]
Industria tessili	6,38x10 ⁶ sej/J	Brown M.T., J.E. Arding, 1991 [10]
Industria vest e arred.	6,38x10 ⁶ sej/J	Brown M.T., J.E. Arding, 1991 [10]
Ind. legno e sughero	5,86x10 ⁴ sej/J	Brown M.T., J.E. Arding, 1991 [14]
Industria della carta	3,61x10 ⁵ sej/J	Brown M.T., J.E. Arding, 1991 [10]
Industria grafica	3,61x10 ⁵ sej/J	Brown M.T., J.E. Arding, 1991 [10]
Industria metallurgica	5,81x10 ⁹ sej/g	Ulgianti S., H.T. Odum, S. Bastianoni, 1994 [9]
Industria meccanica	1,13x10 ¹⁰ sej/g	Brown M.T., J.E. Arding, 1991 [10]
Industria dei minerali	1,68x10 ⁹ sej/g	Odum H. T., 2000 Folio 1 [1]
Industria chimica	6,38x10 ⁸ sej/g	Odum H. T., 1996 [15]
Industria della gomma	6,38x10 ⁸ sej/g	Odum H. T., 1996 [15]
Ind. manufat. varie	5,81x10 ⁹ sej/g	Ulgianti S., H.T. Odum, S. Bastianoni, 1994 [9]

Qualsiasi ecosistema territoriale riceve l'energia dal sole, dalla pioggia e dal vento per alimentare e sostenere i processi naturali, nonché da risorse quali materie prime, semilavorati e fonti energetiche di elevata qualità che

⁹ L'unità di misura della transformity, essendo legata a flussi energetici, è il sej/J; per certi tipi di prodotto o di flusso più facilmente quantificabili in unità di massa, viene usata come unità di misura l'emergia "specificata" espressa in sej/g.

servono a sostenere e alimentare i processi insediativi, agricoli e industriali caratteristici delle società umane. Allo stesso modo ciascun ecosistema territoriale restituisce all'esterno i suoi prodotti attraverso il commercio e rilascia forme di energia degradata attraverso i rifiuti e l'inquinamento. Questi continui scambi con l'esterno sostengono e rendono possibile il metabolismo di un territorio ed il sostentamento delle comunità insediate.

Operativamente è necessario quindi stabilire e valutare i flussi di energia e materia che il nostro ecosistema territoriale scambia con l'esterno. Si può procedere facendo due considerazioni:

- A livello statistico questa operazione implica delle stime sulle forze in gioco, quali ad esempio la popolazione ed i relativi consumi in termini di idrici, energetici, alimentari, di produzione dei rifiuti, etc.
- A livello concettuale si classificano le risorse che alimentano il sistema distinguendo tra risorse locali e non locali, evidenziando quindi ciò che è caratteristico del sistema rispetto a ciò che il sistema è costretto a prelevare dall'esterno. Esempi di risorse locali sono l'energia solare diretta, pioggia e disponibilità idrica (superficiale e sotterranea), il vento, il calore geotermico, i materiali d'estrazione, le biomasse forestali o alcune produzioni agricole mentre l'elettricità e i combustibili, così come tutti gli altri beni (alimentari e di consumo) che vengono importati dal commercio, rappresentano le risorse non locali.

La Tabella X sono riportati alcuni tematismi utilizzati per l'analisi emergica nella provincia di Bologna.

L'approccio emergetico assume particolare importanza se si considera che tutti gli input e gli output, solitamente espressi in diverse unità di misura, vengono uniformati all'unico comune denominatore dell'energia solare, motore principale di tutti i processi che si svolgono nella biosfera. Questo permette di includere, all'interno della stessa analisi, fattori comunemente considerati in stridente contrasto come quelli economici e quelli ambientali

che in questo caso, invece, concorrono insieme ad una valutazione del livello di sostenibilità dell'oggetto dell'analisi.

Elementi demografici	<ul style="list-style-type: none"> • Popolazione residente
Elementi fisici	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie del sistema • Ripartizione della superficie (montagna, pianura, collina) • Superficie agricola utilizzata • Energia geotermica • Velocità media di erosione del suolo • % media di sostanze organiche nel suolo
Elementi climatici	<ul style="list-style-type: none"> • Insolazione annua • Pioggia media annua • Energia eolica media
Elementi economici	<ul style="list-style-type: none"> • Indice PPL (Prodotto Provinciale Lordo) • Valore aggiunto al costo dei fattori • Numero addetti per tipologia di produzione (documento SAST, DBA: ISET, tip.: A12)
Risorse idriche	<ul style="list-style-type: none"> • Portata dei fiumi e di altri bacini idrici • Consumi civili, industriali e agricoli
Produzioni agricole, forestali e ittiche	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie • Tipologia • Quantità
Allevamenti	<ul style="list-style-type: none"> • Numero e tipologie di capi • Produzioni legate all'allevamento
Produzioni minerarie e di cava	<ul style="list-style-type: none"> • Materiali estratti • Quantità • Entità dei bacini (materiale potenzialmente estraibile)
Produzioni industriali e manifatturiere	<ul style="list-style-type: none"> • Tipologie • Quantità
Importazioni e esportazioni	<ul style="list-style-type: none"> • Specificando le frazioni merceologiche e le relative quantità
Consumi energetici	<ul style="list-style-type: none"> • Elettricità • Benzina • Gasolio • Gas naturale • GPL • Lubrificanti
Produzioni energetiche	<ul style="list-style-type: none"> • Idroelettrica • Eolica • Da biomassa • Da rifiuti • Termoelettrica • Geotermica

La tabella mostra la tipologia di dati che occorre per eseguire un'analisi emergica di un insediamento o di un territorio di area vasta. La disponibilità dei dati è fondamentale per analisi di questo tipo.

Di seguito sono riportati due esempi di analisi emergetica applicati a due differenti scale, una comunale (Follonica) e l'altra di area più vasta (Provincia di Venezia). Per una maggior visione della metodologia e dei risultati ottenuti nei diversi casi di studio sperimentati si rimanda agli

appositi studi analitici, reperibili dai siti istituzionali degli enti che li hanno commissionati.

3.2

L'impronta ecologica e la biocapacità

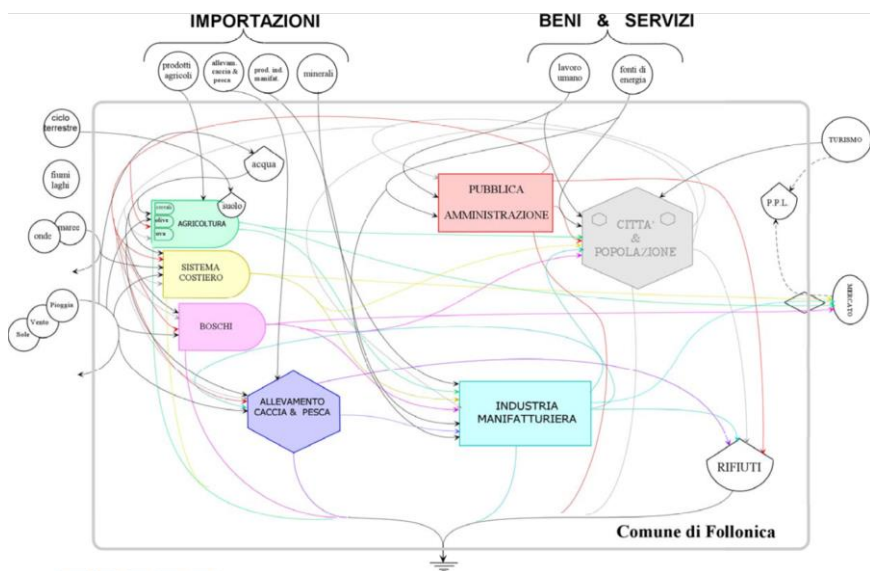
Un altro indicatore utile a fornire nuovi riferimenti quantitativi al concetto di sostenibilità (di un comune, una regione od uno stato) è l'Impronta Ecologica Urbana (Urban Ecological Footprint), una metodologia di contabilità delle risorse ambientali, introdotta a partire dagli anni' 90¹⁰. L'impronta ecologica può essere intesa come la quantità di territorio ecologicamente produttivo (superficie degli ecosistemi ecologicamente produttivi) nelle diverse categorie (distinte in terreni agricoli, pascoli, foreste, bacini idrici, etc.) che è necessaria a sostenere, nel lungo periodo, le attività di sussistenza, economiche e sociali di un individuo, di una comunità, di una nazione; in particolar modo l'impronta ecologica, espressa in ettari di superficie ecologicamente produttiva, deve considerare:

- La capacità di fornire tutti i flussi di energia e materia consumate di una data popolazione;
- La capacità assorbire gli scarti di quella data popolazione;
- L'occupazione spaziale delle superfici che non risultano essere ecologicamente produttive, come le aree urbane.

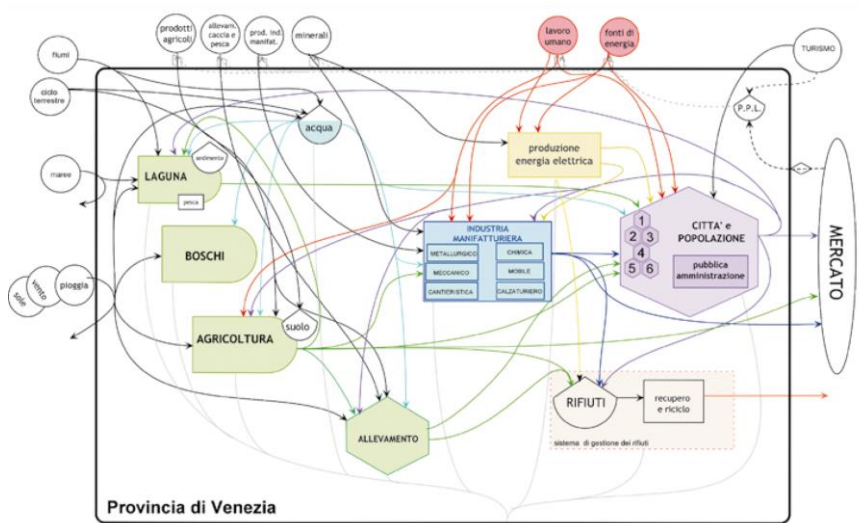
Quando si tratta di analizzare ambiente di entrata e di uscita di un'insediamento umano, ad esempio utilizzando il modello dell'ecosistema territoriale e partendo dal presupposto che possiede una "definita" estensione spaziale¹¹, si fa proprio riferimento alle porzioni di superficie

¹⁰ da William Rees, ecologo della British Columbia University di Vancouver, Canada e Mathis Wackernagel, direttore dell'Indicators Program of Redefining Progress a San Francisco e coordinatore del Center for Sustainability Studies alla Anahuac University di Xalapa, Messico.

¹¹ Da definire, come detto, in base a caratteristiche ambientali, culturali e identitarie di lungo periodo, attraverso un'attenta lettura in chiave bioregionale del territorio



Esempio di analisi emergica a scala locale: il Comune di Follonica



Esempio di analisi emergica di area vasta: la Provincia di Venezia

terrestre sottoposte ad un qualche utilizzo per generare risorse utili al metabolismo urbano e a sopportare i rifiuti che l'insediamento produce.

Il passaggio dai sistemi urbani a combustibili non fossili a quelli a combustibili fossili, lo ricordiamo, ha sicuramente rappresentato una discontinuità fondamentale fra un passato in cui l'individuazione di uno spazio delimitabile di pertinenza di un sistema urbano era ancora possibile e un presente in cui tale individuazione non lo è più.

Mentre nel primo caso tale individuazione dava un risultato quantitativo e qualitativo (nel senso che si poteva conoscere la quantità di aree necessarie al metabolismo dell'insediamento e individuarne le caratteristiche morfologiche, biologiche ed ecosistemiche), nel secondo è possibile solo individuare numericamente la quantità di aree necessarie, dato che non è la relazione fra insediamento umano e ambiente che produce le risorse per la vita dell'insediamento stesso, ma il mercato internazionale che determina quali risorse debbano utilizzarsi per approvvigionare i sistemi urbani. Questo permette di stimare l'eventuale sovraccarico globale e il deficit ecologico di qualsiasi regione o Paese¹².

Per la valutazione del sovraccarico locale è possibile invece avvalersi del concetto di deficit ecologico: viene stimata la differenza tra la capacità ecologica di un dato territorio e la sua effettiva impronta ecologica, svelando così quanto quel dato territorio sia dipendente da capacità produttive e/o di smaltimento degli scarti extra-territoriali.

Il concetto di *urban ecological footprint* consente di superare il problema legato alla misurazione della capacità di carico per quanto riguarda gli insediamenti umani, che è sempre stata problematica in quanto il peso ecologico totale di qualsiasi popolazione varia col variare di fattori quali il

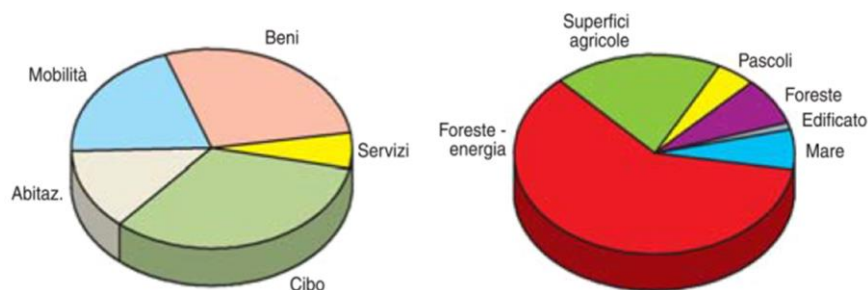
reddito medio pro capite, le aspettative di consumo, il livello di istruzione o il livello tecnologico: *in pratica, la carrying capacity dipende tanto dai fattori culturali quanto dalla produttività ecologica*. Si ricorda inoltre che *l'economia globale fa sì che nessuna regione sia più isolabile: tutti hanno accesso alle risorse di tutto il mondo*. Anzi, molti osservatori sottolineano che *il commercio è in grado di far superare qualsiasi limite di crescita imposto dalla penuria di risorse a livello locale*. E' inutile sottolineare che gli insediamenti che si basano su condizioni di crescita dipendenti esclusivamente dal commercio esterno di materia-energia sono l'opposto di ciò che noi intendiamo quando parliamo di sostenibilità dell'insediamento umano.

Il concetto dell'impronta ecologica si basa sull'idea che ad ogni unità materiale o di energia consumata corrisponda una certa estensione di territorio, appartenente ad uno o più ecosistemi, che garantisce il relativo apporto di risorse per il consumo e l'assorbimento dei rifiuti. Così, per determinare la superficie totale di territorio necessaria per sostenere un dato modello di consumo, devono essere calcolate le necessità in termini di uso del territorio per ogni categoria di consumo significativa. Poiché non è possibile calcolare la superficie di territorio necessaria per la fornitura, la manutenzione e lo smaltimento di ciascuna delle decine di migliaia di beni di consumo, il conteggio deve per forza limitarsi alle categorie principali e ai beni specifici.

Anche questo indicatore acquista in significato qualora lo si adoperi come strumento di confronto nelle analisi comparative, ad esempio se lo si paragona con la superficie realmente disponibile nella regione che ospita una determinata popolazione o con le ipotetiche impronte ecologiche che potrebbero risultare da cambiamenti nel suo stile di vita.

¹² Il sovraccarico globale è la parte di impronta complessiva dell'umanità che supera la carrying capacity globale: oltre un certo punto, la crescita materiale dell'economia mondiale può essere ottenuta solo attraverso l'impoverimento del capitale naturale e minando i servizi naturali vitali da cui noi tutti dipendiamo.

Esempio impronta ecologica della provincia di Firenze



L'impronta ecologica pro capite di un'abitante della provincia di Firenze è di 4,12 ha, il 7,3 % in più della media italiana. Se ipotizziamo un mondo in cui tutti gli abitanti abbiano lo stesso stile di vita, gli stessi consumi e la stessa produzione di rifiuti degli abitanti della provincia di Firenze, emerge che due pianeti non sarebbero sufficienti a sostenere i consumi complessivi della popolazione mondiale. I consumi alimentari rappresentano il 34% dell'impronta complessiva; tra gli alimenti, quelli di origine animale hanno un'impronta superiore del 50% rispetto a quelli vegetali. Al consumo alimentare segue quello dei beni di consumo (27 %) ed il trasporto (20%), dove l'uso dell'auto privata ha un peso nettamente preponderante.

Dall'inizio del secolo lo spazio ecologico disponibile pro-capite, secondo alcuni autori, è diminuito da 5-6 ha a solo 1,5 ha. Nello stesso tempo, aumentando il benessere generale, l'impronta ecologica in alcuni paesi industrializzati ha superato i 4 ha.¹³

Parte integrante dell'analisi della sostenibilità di un territorio attraverso l'Impronta Ecologica è rappresentata dal calcolo della Biocapacità. Tale termine sta ad indicare l'insieme dei servizi ecologici erogati dagli ecosistemi locali ed è stimato attraverso la quantificazione della superficie dei terreni ecologicamente produttivi che sono presenti all'interno della regione in esame.

¹³ Questi opposti trend illustrano il conflitto e la sfida per la sostenibilità che l'umanità deve affrontare: l'impronta ecologica di un cittadino medio nei paesi ricchi è da 2 a 3 volte più grande della sua "legittima" fetta di terra.

L'Impronta Ecologica considera i seguenti tipi di attività che richiedono direttamente o indirettamente i servizi degli ecosistemi e che possono quindi essere tradotti in superfici di terreno ecologicamente produttivo:

- estrazione, lavorazione e trasporto dei beni e delle merci consumate;
- produzione dell'energia utilizzata;
- smaltimento degli scarti e delle emissioni prodotte dai vari consumi (ad esempio la superficie necessaria per assorbire l'anidride carbonica emessa);
- occupazione di territorio da parte di infrastrutture, impianti, abitazioni, etc.

La formulazione classica dell'Impronta Ecologica suddivide l'utilizzo di territorio ecologicamente produttivo in sei principali categorie:

- **Terreno per l'energia:** superficie necessaria per produrre, con modalità sostenibili (per esempio la coltivazione di biomassa), la quantità di energia utilizzata. Wackernagel e Rees nel 1996 applicano una definizione differente che si basa sull'area di foresta necessaria per assorbire la CO₂ (anidride carbonica) emessa dalla produzione di energia a partire da combustibili fossili. Le due aree hanno lo stesso ordine di grandezza ma con quest'ultimo metodo è possibile, partendo dai dati riguardanti le diverse emissioni di CO₂, distinguere gli impatti provocati dall'uso di differenti combustibili fossili (solidi, liquidi, gassosi) per produrre energia;
- **Terreno agricolo:** superficie arabile (campi, orti) utilizzata per la produzione delle derrate alimentari e di altri prodotti non alimentari di origine agricola (cotone, tabacco);
- **Pascoli:** superficie dedicata all'allevamento e, conseguentemente, alla produzione di carne, latticini, uova, lana e di tutti i prodotti derivati dall'allevamento;
- **Foreste:** area dei sistemi naturali dedicati alla produzione di legname;
- **Superficie degradata:** terreno degradato, ecologicamente improduttivo, dedicato alla localizzazione delle infrastrutture quali abitazioni, attività manifatturiere, aree per servizi, vie di comunicazione, etc;
- **Mare:** superficie marina necessaria alla crescita delle risorse ittiche consumate.

Riprendendo quanto affermato nel “Rapporto finale del progetto indicatori comuni europei EUROCITIES” (Lewan, Simmons, 2001), *“la Biocapacità misura l’offerta di bioproduttività, ossia la produzione biologica di una data area. Questa è data dalla produzione aggregata dei diversi ecosistemi appartenenti all’area designata, che vanno dalle terre arabili ai pascoli, dalle foreste alle aree marine produttive e comprende, in parte, aree edificate o in degrado. La Biocapacità non dipende dalle sole condizioni naturali, ma anche dalle pratiche agricole e forestali dominanti”.*

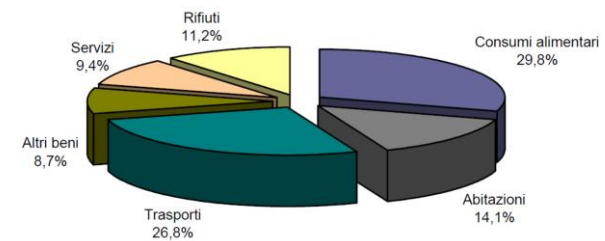
La Biocapacità rappresenta quindi l’estensione totale di territorio ecologicamente produttivo presente nella regione, ossia la capacità potenziale di erogazione di servizi naturali a partire dagli ecosistemi locali. Questa grandezza va comparata con l’Impronta Ecologica che fornisce una stima dei servizi ecologici richiesti dalla popolazione locale. È possibile definire un vero e proprio bilancio ambientale sottraendo all’offerta locale di superficie ecologica (la Biocapacità), la domanda di tale superficie, richiesta dalla popolazione locale (l’Impronta Ecologica).

L’impronta ecologica può essere intesa come uno strumento in grado di assegnare un valore Ambientale ad ogni risorsa consumata, poiché memorizza, in termini di superficie bio-produttiva, tutto lo sforzo che è stato necessario per produrre e rendere fruibile quel bene nonché lo sforzo necessario per assorbire gli scarti che ne accompagnano l’uso. Per citare un esempio, l’Impronta Ecologica di un chilo di pane è circa 30 g/m². Tale valore è riconducibile alla somma di due contributi, uno reale e uno ideale. Nella fattispecie viene richiesto il terreno agricolo necessario per fare crescere il grano (75%), e un generico terreno per l’energia (25%) per tenere conto di tutti i consumi, diretti ed indiretti, di energia nelle varie fasi di coltivazione (fertilizzanti), di raccolta (combustibile), nonché di trasformazione in pane e di trasporto fino al luogo di consumo.

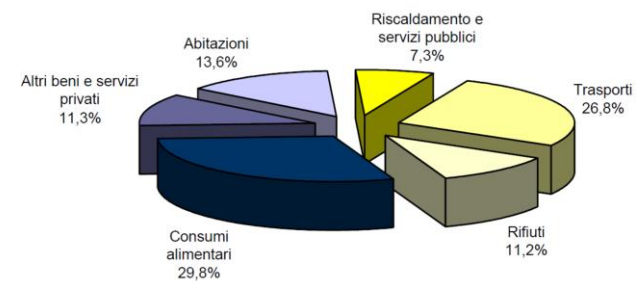
Esempio impronta ecologica del Comune di Follonica

Dallo studio condotto su Follonica dal prof. Enzo Tiezzi, emerge che l’impronta ecologica pro-capite degli abitanti è di 6,43 ha, un valore molto sopra la media italiana e dei paesi industrializzati in genere. A fronte di una biocapacità di 0,83 ha pro-capite, il bilancio fa emergere un deficit ecologico pro-capite di 5,61 ha. E’ da considerare che tale valore è molto influenzato dall’alta percentuale di superficie forestale del comune e dal fatto che, essendo una meta turistica, i valori riferiti al calcolo dei consumi e della produzione dei rifiuti non riguardano esclusivamente la popolazione residente.

Si riporta l’impronta ecologica con la ripartizione percentuale nelle differenti categorie di consumo:



Il grafico successivo invece mostra una suddivisione per “competenze”, dove le sfumature di giallo sono relative alle spese pubbliche, ed in blu quelle relative ai singoli cittadini:



In teoria le scelte della pubblica amministrazione potrebbero quindi influire, direttamente o indirettamente, sul 45,3 % delle fonti dell’Impronta Ecologica del Comune di Follonica.

Non potendo essere individuati tutti i consumi analiticamente, l'impronta ecologica offre un risultato orientativo, anche se molto immediato e comprensibile. Serve, comunque, ad individuare eventuali deficit e a tenere la situazione sotto controllo. Abbinato con gli altri strumenti proposti nel manuale consente di aggiungere una diagnosi complementare, di alto profilo biologico.

In conclusione l'impronta ecologica, ponendo il concetto di sostenibilità in termini semplici e concreti, ci consente di delineare uno scenario intuitivo dei requisiti fondamentali della sostenibilità ecologica.

Il calcolo matematico dell'Impronta Ecologica

Per illustrare la metodologia base di calcolo consideriamo una generica regione di cui si vuole valutare l'Impronta Ecologica: procedendo per passi successivi si devono affrontare le seguenti operazioni.

- Calcolo dei consumi medi C_n , (espressi in kg/anno) per ogni bene o prodotto n consumato dalla popolazione residente nella regione in esame.
- Calcolo della superficie S_n (espressa in ha) necessaria per la produzione dello specifico bene n , ottenuta dividendo il consumo medio annuale di quel bene C_n per la sua produttività o rendimento medio annuale p_n , espresso in kg/(ha anno):

$$S_n = \frac{C_n}{P_n}$$

Nella contabilizzazione dei territori devono essere inclusi anche quei terreni produttivi che non sono legati direttamente ai consumi di beni ma a quei servizi naturali indispensabili per assorbire le emissioni prodotte. In questo caso la produttività media p_n dovrà essere intesa in senso generalizzato, come la quantità, in chilogrammi, della sostanza inquinante n che può essere assorbita da un ettaro di terreno produttivo.

- Calcolo dell'Impronta Ecologica F (espressa in ha), sommando i contributi delle diverse superfici S_n relative a tutti gli n beni consumati:

$$F = \sum_n^{tutti\ i\ beni} S_n$$

- Calcolo dell'Impronta Ecologica pro capite f (espressa in ha/persona), dividendo l'Impronta Ecologica totale F per la popolazione P residente nella regione in esame:

$$f = \frac{F}{P}$$

- Calcolo della superficie equivalente. Moltiplicando le aree dei sei diversi tipi di terreno per i fattori di equivalenza h_i , proporzionali alla loro produttività media mondiale, si ottengono l'Impronta Ecologica E espressa in ha equivalenti e l'Impronta Ecologica pro capite e espressa in ha equivalenti pro capite.

Il calcolo matematico della Biocapacità

Il calcolo della Biocapacità si rifà alle definizioni e al formalismo matematico dell'Impronta Ecologica.

- Il primo passo consiste nel calcolare l'estensione a_i dei territori ecologicamente produttivi presenti all'interno della regione in esame, per ciascuna delle sei categorie di terreno sopra menzionate.
- Occorre poi pesare ciascuna delle superfici dei differenti tipi di terreno per i fattori di equivalenza h_i proporzionali alla loro produttività media mondiale: in questo modo, sommando i diversi contributi presenti, si ottiene una misura della Biocapacità che, similmente all'Impronta Ecologica, risulta espressa in ettari equivalenti.
- Dal momento che la Biocapacità stima l'offerta di bio-produttività degli ecosistemi locali è importante considerare eventuali differenze di produttività rispetto alla media mondiale. In regioni aride lo stesso tipo di ecosistema ha, solitamente, una produttività minore che in regioni umide. Per tenere conto di queste possibili differenze si moltiplica la misura ottenuta al punto precedente per un fattore di rendimento (yield factor) y_i

che tiene conto delle variazioni della produttività locale rispetto alla media mondiale.

- Sommando le aree a_i pesate con i fattori di equivalenza e di rendimento delle sei categorie di terreno si ottiene l'area totale B (misurata in ha) di terreno occupato da ecosistemi, e quindi potenzialmente produttivo, che è presente sul territorio:

$$B = \sum_{i=1}^6 h_i y_i a_i$$

- A tale valore si sottrae, seguendo Wackernagel (1997), un 12% di terreno, considerato l'area minima indispensabile per la preservazione della biodiversità.
- Partendo dalla misura così ottenuta e dividendola per il numero di abitanti è possibile calcolare la Biocapacità pro capite b .

Metodologia per il calcolo dell'impronta ecologica e della biocapacità territoriale secondo il metodo proposto da Wackernagel

2.4

Considerazioni di metodo

Abbiamo definito che l'insediamento umano non può sottrarsi alle leggi termodinamiche. Per evolversi nella più grande varietà dei modi possibili ha bisogno di estrarre dal proprio ambiente flussi di materia-energia a bassa entropia e renderli ad alta entropia. In questo movimento senza fine si evolve come (omologamente a) una grande *struttura dissipativa*. L'insediamento caratterizzato dall'uso dei combustibili fossili (flussi energetici a bassa entropia concentrati nello spazio) è sicuramente un insediamento capace di forti e interessanti forme evolutive.

Se il nostro obiettivo è perseguire la sostenibilità, ovvero la durevolezza, allora nascono una serie di problemi:

1. Il primo è il mantenimento di strutture altamente entropiche (nel senso che consumano fonti a bassa entropia non rigenerabili e producono flussi ad alta entropia non riutilizzabili), nel qual caso è possibile valutare come si possa ridurre in senso relativo il fenomeno (incentivare l'uso di fonti a bassa entropia rinnovabili e reprimere flussi ad alta entropia non reintegrabili).
2. Il secondo problema (oggi connotato da tratti utopistici) è l'invenzione di modelli insediativi non entropici (nel senso che riescono a evolversi nella maniera più complessa, governando le relazioni con il proprio ambiente in modo coretto), nel qual caso è possibile valutare nuovi prototipi insediativi in modo assoluto: inventare insomma modelli che si garantiscono l'evoluzione nel tempo.

Il bilancio entropico, come viene proposto in questo lavoro, non rappresenta un percorso ineludibile per la progettazione dell'insediamento umano. Sembra chiaro, infatti, che l'evoluzione del sistema non deve (e soprattutto non può) essere definita a priori da una legge fisica, comunque la si voglia interpretare: la complessità di ogni soggetto vivente è tale che non è mai possibile predeterminarla. Il bilancio entropico deve essere inteso come una guida alla definizione di azioni relativamente più sostenibili, o sostenibili in assoluto.

Questa degradazione continua dell'ecosistema territoriale (continua perdita di organizzazione territoriale e ambientale, oltre che una trasformazione energetica di eccezionale dimensione) produce una sempre maggiore perdita di complessità, la quale a sua volta genera una debolezza strutturale del sistema stesso e del proprio ambiente. Una minima variazione delle condizioni ambientali, o un incidente nella tecnostruttura (di approvvigionamento delle risorse), e tutto il sistema insediativo immediatamente si blocca e degenera.

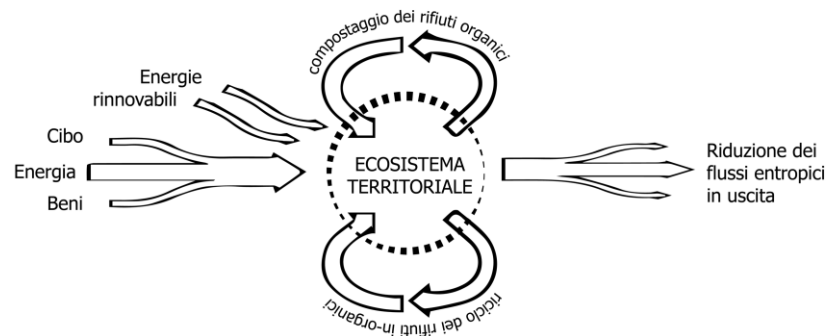
Al di là di ogni determinismo ambientalistico (che vorrebbe forse far dipendere l'evoluzione delle comunità e delle società umane da condizioni dettate dall'ambiente), realizzare una valutazione sull'entropia prodotta da un insediamento vuole dire semplicemente porre attenzione alle corrette modalità di organizzazione di un sistema urbano in relazione alle risorse locali che dispone. Tutto ciò, rispetto alla coscienza che le risorse sono sempre più limitate nel tempo e con la sensazione che un corretto uso delle risorse limitrofe all'insediamento possa alimentare la cura del territorio, il controllo del sistema urbano sulle proprie risorse e, in sintesi, una maggiore coscienza nell'uso del territorio.

L'ipotesi che dobbiamo verificare - anche se alcuni la danno per provata - è che ricomponendo relazioni equilibrate fra sistema urbano e ambiente di entrata e di uscita (cioè nell'ecosistema territoriale) si produca maggiore identità locale ed una qualità insediativa superiore.

ECOSISTEMA LINEARE



ECOSISTEMA STAZIONARIO AUTOCENTRATO



Differenze tra sistemi lineari e sistemi stazionari autocentrati nella gestione dei flussi

Quando ci troviamo di fronte ad un sistema urbano che costruisce equilibrio durevole nell'utilizzazione delle risorse del suo territorio, quando cioè vengono ad instaurarsi delle regole sostenibili capaci di generare i flussi di entrata (ad es. attraverso lo "sfruttamento" della biocapacità energetica locale) e di metabolizzare nel tempo i flussi di uscita (ad es. i propri rifiuti), abbiamo a che fare con un sistema in stato stazionario. Quando tra ambiente di entrata e ambiente di uscita si formano cicli di riuso della materia-energia, il sistema urbano in stato stazionario si dice autocentrato.¹⁴

¹⁴ Uno dei primi autori a trattare il concetto di stato di stazionario in relazione alle problematiche della società umana e dello Sviluppo Sostenibile è stato Herman Daly

Considerando ad esempio l'agricoltura come sistema (sino ad arrivare, in senso interscalare, all'azienda agricola) si possono fare delle valutazioni termodinamiche ad entropiche. Infatti, il progresso tecnico ha fatto sì che l'agricoltura, da sempre una sorgente di energia, *in alcuni paesi non sia più tale. L'agricoltura moderna converte combustibile fossile in cibo...l'alta densità energetica dell'agricoltura moderna non deriva solo dall'energia richiesta per far funzionare le macchine, ma anche dalla fabbricazione di fertilizzanti, pesticidi ed insetticidi.*" (Martinez-Aler, 1991)

Fermo restando l'uso di macchinari, quello che interessa ai fini del nostro ragionamento è l'utilizzo, nell'agricoltura moderna, di fertilizzanti e fitofarmaci di sintesi (nutrienti azotati, pesticidi,..) un flusso che possiamo considerare (all'interno del sistema) come una forma di energia paragonabile a quella proveniente da risorse non rinnovabili.

Già nel 1981 Raffestin affermava che *"la produzione di risorse rinnovabili, a partire dall'apparizione dell'agricoltura, si è realizzata mediante la messa in opera di ecosistemi agricoli, cioè mediante lo sfruttamento razionale di porzioni della superficie terrestre. Ci sono voluti parecchi millenni per passare dall'ecosistema agricolo semplice all'ecosistema contemporaneo. Mentre nel primo l'uomo assumeva tutto il lavoro, nel secondo il lavoro umano, amplificato da macchine, ha piuttosto un compito regolatore. Se si considerano i rendimenti per unità di superficie tra il primo e il secondo, si constata che i rapporti sono dell'ordine di 1 a 20 o anche più, ma si constata ugualmente che il rapporto degli input se degli output sin termini energetici*

(1981).

Si citano di seguito i due principi guida per la realizzazione della sostenibilità:

"Per la gestione delle risorse ci sono due ovvi principi di sviluppo sostenibile. Il primo è che la velocità del prelievo dovrebbe essere pari alla velocità di rigenerazione (rendimento sostenibile). Il secondo, che la velocità di produzione dei rifiuti dovrebbe essere uguale alle capacità naturali di assorbimento da parte degli ecosistemi in cui i rifiuti vengono emessi. La capacità di rigenerazione e di assorbimento debbono essere trattate come capitale naturale, e il fallimento nel mantenere queste capacità deve essere considerato come consumo di capitale e perciò non sostenibile."

(Daly H.E. *Toward some operational principles of sustainable development*. Ecological Economics, 1990) ..

è di 1 a 12 per il primo e di 1 a 2 per il secondo. Si ha qui un paradosso tra rendimento economico e rendimento energetico, di cui si comincia appena a prendere coscienza. Che vuol dire? Che occorre una quantità crescente di inputs a bassa entropia per produrre la stessa quantità di risorse. Ora questi inputs a bassa entropia non esistono nemmeno loro in quantità illimitata” (Raffestin, 1981).

Oggi possiamo dire che il flusso neghentropico raccolto con l’agricoltura può essere inesistente, nel senso che in un bilancio globale l’energia-materia degradata può essere maggiore rispetto alla neghentropia ottenuta dalle coltivazioni e rischia di divenire un’attività insostenibile.

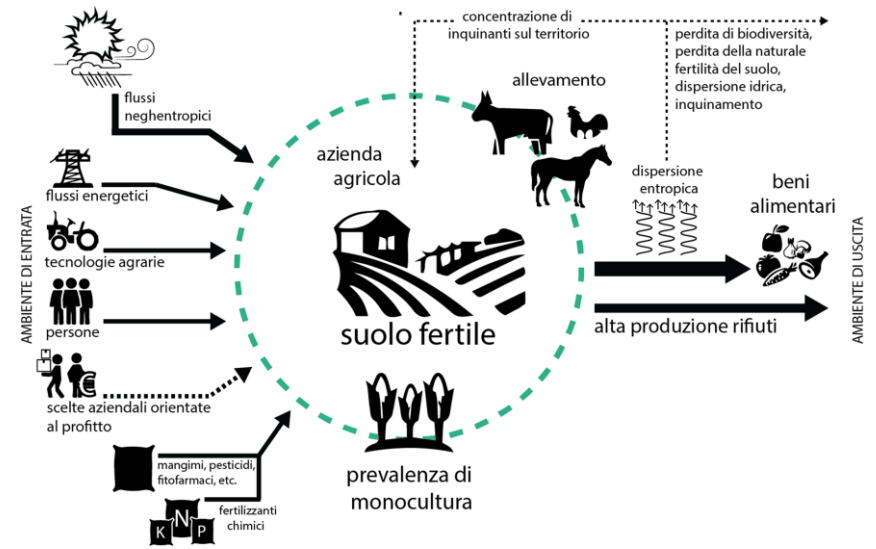
Infatti l’agricoltura che si basa esclusivamente sull’utilizzo di fertilizzanti di sintesi chimica si ha bisogno di un continuo flusso di tali sostanze nutritive dall’esterno¹⁵. Lo stesso vale per i fitofarmaci e pesticidi.

¹⁵ Le piante devono la loro esistenza e la loro salute alla luce e all’acqua. A ciò si aggiungono gli elementi nutritivi:

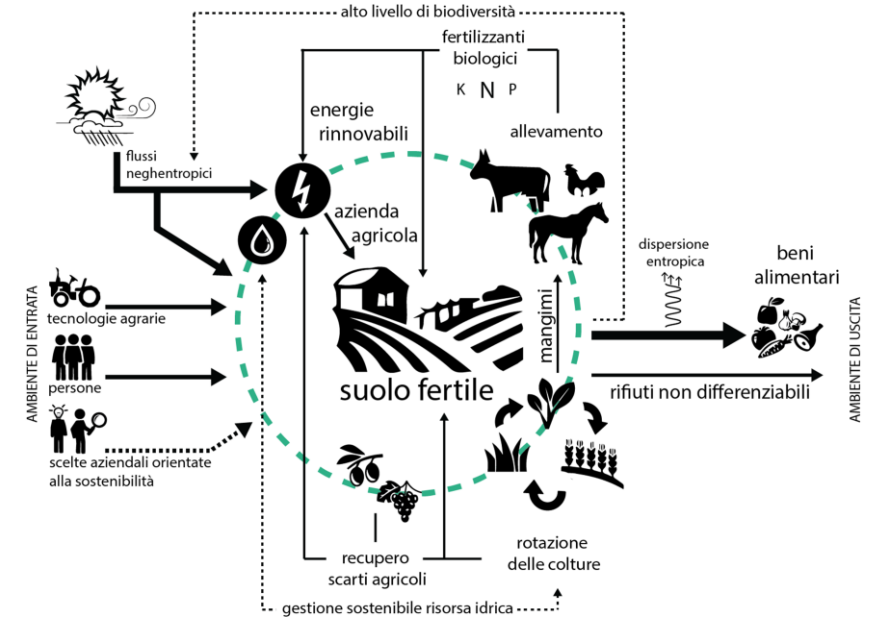
Macroelementi: azoto (N), fosforo (P), e potassio (K) e calcio
Microelementi: ferro, rame, manganese, zinco e zolfo

Queste sostanze nutritive una volta assimilate dalle piante non si riproducono facilmente e velocemente, per cui si ricorre alla concimazione. L’obiettivo è quello di reintegrare l’originaria fertilità del terreno. Più la coltivazione sarà intensiva più dovrà essere massiccia l’attività di concimazione. I concimi si distinguono in *concimi organici* e *concimi chimici* o, se vogliamo, in concimi naturali e concimi minerali.

Oltre ai tre elementi principali per la fertilità del terreno (azoto, fosforo e potassio) contengono il carbonio e sono di origine animale o vegetale. In larga misura, i concimi organici traggono origine da liquami, letame e resti di animali. I concimi chimici o minerali sono fertilizzanti prodotti industrialmente in maniera bilanciata, nel senso che i macro e i microelementi entrano a far parte della composizione del prodotto finale nelle giuste proporzioni, in linea con le esigenze del terreno e del tipo di coltura cui è destinato.



Sistema agricolo che utilizza concimi di sintesi



Sistema agricolo che utilizza concimi organici: si creano così delle relazioni virtuose con l’ecosistema territoriale

Prendiamo ad esempio il flusso di fertilizzanti chimici diffuso nell'agricoltura convenzionale: il concime sintetico penetra direttamente nella pianta tramite un processo di osmosi sfruttando il principio della differente concentrazione tra il terreno e le radici. I concimi chimici possono alterare pesantemente la composizione del terreno, apportare un quantitativo superiore di azoto con un conseguente aumento impressionante dei nitrati all'interno dei vegetali coltivati. L'esempio più tipico, ma certo non l'unico, è quello degli spinaci la cui percentuale di nitrati è passata da 23 a 600 ppm. L'inquinamento da nitrati interessa in gran parte anche il ciclo delle acque, causando contaminazioni dell'acqua di falda ed eutrofizzazione delle acque superficiali. Il bilancio entropico di un sistema agricolo di questo tipo sarà sicuramente negativo: per garantire la produzione alimentare il sistema necessita in ingresso di continui flussi di risorse non rinnovabili e produce in uscita maggior inquinamento e rifiuti (ad es. gli imballaggi degli stessi fertilizzanti chimici).

Per rimettere ordine al problema specifico dell'agricoltura, possiamo agire in modo relativo o in modo assoluto. In modo relativo, nel caso accettassimo di migliorare nel tempo il bilancio entropico senza mai ottenere di nuovo surplus neghentropici; in modo assoluto, quando la nostra azione avrà come differenza in un bilancio la produzione di neghentropia. Nel primo caso faremo slittare il termine di esaurimento delle risorse a bassa entropia; nel secondo caso produrremo un'azione durevole nel tempo, fino a quando cioè il flusso energetico solare continuerà a spandersi sulla Terra avremo la possibilità di creare flussi neghentropici necessari per altre attività vitali.

Le tecniche di agricoltura biologica integrata, ---- , attraverso una corretta gestione della risorsa idrica, l'uso di concimi naturali o le tecniche di rotazione delle colture, con il mantenimento di alti livelli di biodiversità (filari, siepi, boschetti planziali, etc) sono un chiaro esempio di come creare questi flussi neghentropici: si inizia a percepire la stretta relazione tra la

forma e l'ambiente locale che ha generato i *patterns rurali* di qualità riportati nel Capitolo 2.

L'esempio dell'agricoltura appare semplice e al tempo stesso basilare per comprendere un processo con ripercussioni fondamentali per la sostenibilità anche dell'insediamento umano. Se un problema capitale dello sviluppo sostenibile è quello dell'esaurimento nel tempo delle risorse, e uno dei principali modi per incrementare la disponibilità di risorse stesse nel sistema aperto Terra è catturare il flusso energetico solare, allora l'agricoltura (addomesticando la sintesi clorofilliana) rappresenta uno dei momenti fondamentali per aumentare la disponibilità di ricchezza. Se ogni organismo ha necessità per vivere di flussi neghentropici (cioè deve trarre dall'ambiente flussi di materia-energia-informazione di alta qualità) affinché tali flussi non si esauriscano, deve necessariamente o spostarsi di continuo o gestire le modalità di rigenerazione delle risorse di cui ha bisogno. Per ogni insediamento umano le attività agricole hanno sempre rappresentato (fino all'uso dei combustibili non rinnovabili) il modo di catturare risorse neghentropiche per il proprio mantenimento e il proprio sviluppo. Insomma, con l'agricoltura si riusciva a compiere quel *miracolo termodinamico* capace di trasformare energia libera in materia-energia a bassa entropia necessaria alla vita dei sistemi insediativi. (Saragosa,2005)
Alla situazione attuale, laddove lo sviluppo della chimica agraria ha preso il sopravvento su qualsiasi altra dimensione del problema, la materia-energia estratta per mezzo dell'agricoltura non può che essere considerata una forma diversa di energia proveniente da risorse non rinnovabili.

A questo punto possiamo concludere facendo un'ultima riflessione sulle relazioni tra il sistema urbano ed il sistema rurale. Nell'analisi dei flussi di uscita di un sistema urbano abbiamo visto che i rifiuti ed i reflui urbani generano solitamente una grande quantità di energia-materia degradata, sotto forma di sostanze difficilmente reintegrabili dall'ambiente di riferimento.

Per gestire questi flussi sono necessari ingenti impegni tecnologici ed economici e non sempre tale gestione mira alla sostenibilità:

- La raccolta differenziata sta dando dei risultati ma gran parte dell'organico continua ad essere conferito in discarica anziché inserito in filiere di compostaggio per il recupero di fertilizzanti organici.
- I reflui urbani in uscita dalle città necessitano di essere digerite in grandi strutture tecniche (depuratori) che non garantiscono mai la completa purezza delle acque e quindi un loro potenziale riutilizzo.

Per quanto riguarda la produzione di rifiuti, quello che a noi interessa è il potenziale energetico che ne può derivare, sia per quanto riguarda la produzione elettrica da biomassa sia per ciò che concerne la produzione di concimi organici per l'agricoltura attraverso il compostaggio dell'organico. I dati sulla raccolta differenziata forniti dall'ARRR ci mostrano una percentuale di raccolta differenziata certificata che mediamente e salvo situazioni virtuose, per i comuni toscani difficilmente supera il 50% della produzione totale.

Pr	Comune	Abitanti residenti	RU t/anno	RD tot. t/anno	RU TOTALE t/anno	% RD certificata
GR	Monterotondo Marittimo	1.364	461,67	210,25	671,92	37,25
LI	Campiglia Marittima	13.296	5.547,39	2.662,01	8.209,40	35,50
LI	Piombino	34.359	14.414,01	6.411,35	20.825,36	33,75
LI	San Vincenzo	6.979	5.342,22	3.610,25	8.952,47	43,90
LI	Sassetta	532	261,50	57,88	319,38	19,28
LI	Suvereto	3.109	1.135,34	470,52	1.605,86	32,17

Produzione di rifiuti urbani indifferenziati e valori della raccolta differenziata per i comuni della Val di Cornia, Osservatorio Rifiuti Urbani ARRR (Agenzia Regionale Recupero Risorse), Regione Toscana

La quantità di rifiuti organici da poter reinserire nel sistema risulta notevole: ad esempio in Val di Cornia sul totale di carta e cartone, vetro, materie plastiche, metalli e raccolta selettiva, i rifiuti organici rappresentano il 40% della quantità totale di differenziata prodotta.

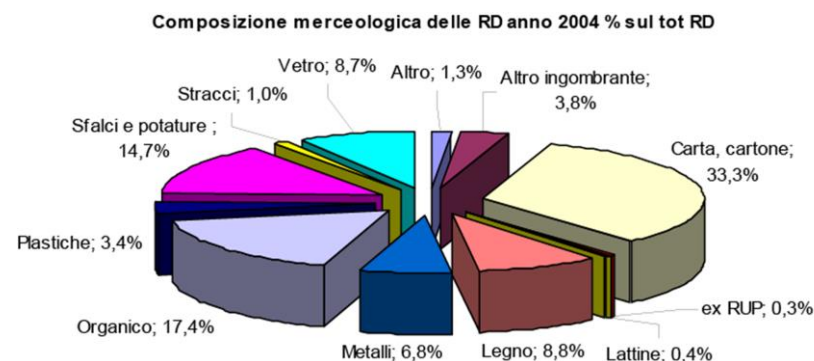
COMUNE	Popolazione	Rifiuto verde, organici e legno*
Campiglia Marittima	13.220	1.134.977
Piombino	34.419	2.954.974
San Vincenzo	7.023	602.946
Sassetta	533	45.760
Suvereto	3.142	269.750
Monterotondo Marittimo	1.414	121.396

Kg 5.129.803

* Kg pro-capite pr. Livorno - 86

* Kg pro-capite pr. Grosseto - 82

Stima della produzione di rifiuti organici per la popolazione residente della Val di Cornia, che ammonta a 5129 t/anno pari al 40% della produzione totale di rifiuti differenziati. Fonte: interpolazione dati censimento ISTAT, tipologia di rifiuto differenziato per i comuni capoluogo di provincia, anno 2012.



Composizione merceologica della raccolta differenziata su scala regionale, Osservatorio Rifiuti Urbani ARRR (Agenzia Regionale Recupero Risorse), Regione Toscana

Il dibattito sul recupero dei reflui urbani¹⁶ invece ha prodotto negli anni numerose ipotesi progettuali basate sul principio della fitodepurazione.

La fitodepurazione (letteralmente "depurazione delle acque per mezzo delle piante") è un approccio al trattamento delle acque reflue basato sullo sfruttamento dei processi biologici, fisici e chimici che avvengono nel sistema suolo/vegetazione in ambienti saturi che determinano l'abbattimento delle sostanze inquinanti contenute negli scarichi. I primi studi relativi alla fitodepurazione dei reflui urbani sono stati effettuati all'inizio degli anni settanta in Europa e durante gli anni ottanta in Nord America. Fin dall'inizio la comunità scientifica ha concentrato la propria attenzione sulle capacità auto depurative delle aree umide naturali: infatti queste funzionando come ambienti filtro, sono in grado di attenuare, regolare e tamponare gli scambi di inquinanti tra bacino scolante e corpo d'acqua recettore. Successivamente ci si orientò verso sistemi umidi artificiali, del tutto simili a quelli naturali, ma in grado di massimizzare le efficienze di rimozione. In tal modo, agendo sui vari parametri caratterizzanti il sistema, sono state raggiunte potenzialità molto superiori a quelle naturali. (ricercare bibliografia!)

¹⁶ Si riporta l'ambigua posizione di un chimico tedesco, il quale ha dato enormi contributi alla chimica organica e per l'agricoltura, avvenuto nella seconda metà dell'800 a proposito del recupero dei reflui urbani:

Justus von Liebig fu uno dei primi a studiare il problema del depauperamento dei nutrienti dei suoli. Generalizzando il problema, Liebig capì che, al tasso di sfruttamento dei suoli in vigore per esempio negli Stati Uniti, in pochi anni il terreno poteva diventare improduttivo. Era necessario quindi reintegrare gli elementi che con la coltivazione venivano consumati e fra questi soprattutto il potassio e il fosforo. In tale quadro Liebig intravedeva due strade fondamentali. La prima era rappresentata da una sorta di chiusura dei cicli per mezzo dell'utilizzo dei reflui urbani. «Liebig apprezzava la pratica cinese di fertilizzare i campi con escrementi umani e riteneva che i proprietari terrieri dei grandi paesi dovessero costituire delle società per creare dei *reservoirs* in cui le deiezioni umane e animali potessero essere raccolte e preparate per il trasporto nei campi. Il problema urbanistico delle immondizie, delle deiezioni e dei rifiuti accumulati nelle grandi città era l'altra faccia del problema di un'agricoltura di spoliazione». La seconda strada era quella dell'impiego sempre più massiccio di prodotti della chimica industriale[...] (Saragosa, 2005)

La prima esperienza di questo tipo risale al 1952 quando iniziarono una serie di sperimentazioni al Max Planck Institute di Plon. Ci sono voluti circa venti anni di studi per arrivare, nel 1977, al primo impianto di fitodepurazione in scala reale, costruito a Othfresen, in Germania, per il trattamento dei reflui urbani (Kickuth 1977).

I sistemi di fitodepurazione sono basati su dinamiche naturali e possono essere definiti delle vere e proprie ecotecnologie, necessitano generalmente di ampi spazi ad elevato carico superficiale, di tempi estesi (elevanti tempi di residenza idraulica) e vengono spesso denominati *Constructed Wetlands*, zone umide artificiali.

L'elevata tolleranza alle oscillazioni di carico organico e idraulico permette il trattamento di scarichi provenienti da agglomerati caratterizzati da una popolazione fluttuante rispetto le diverse scale temporali (oraria, giornaliera, settimanale, stagionale etc.).

Queste caratteristiche rendono i sistemi di fitodepurazione particolarmente adatti a rispondere alle esigenze di trattamento delle acque reflue in situazioni di urbanizzazione diffusa sul territorio, caratterizzata da una bassa densità abitativa. Ad esempio per trattamenti tradizionali delle acque reflue relativi a piccole utenze (< 2000 abitanti equivalenti A.E.) si distinguono:

Trattamenti convenzionali

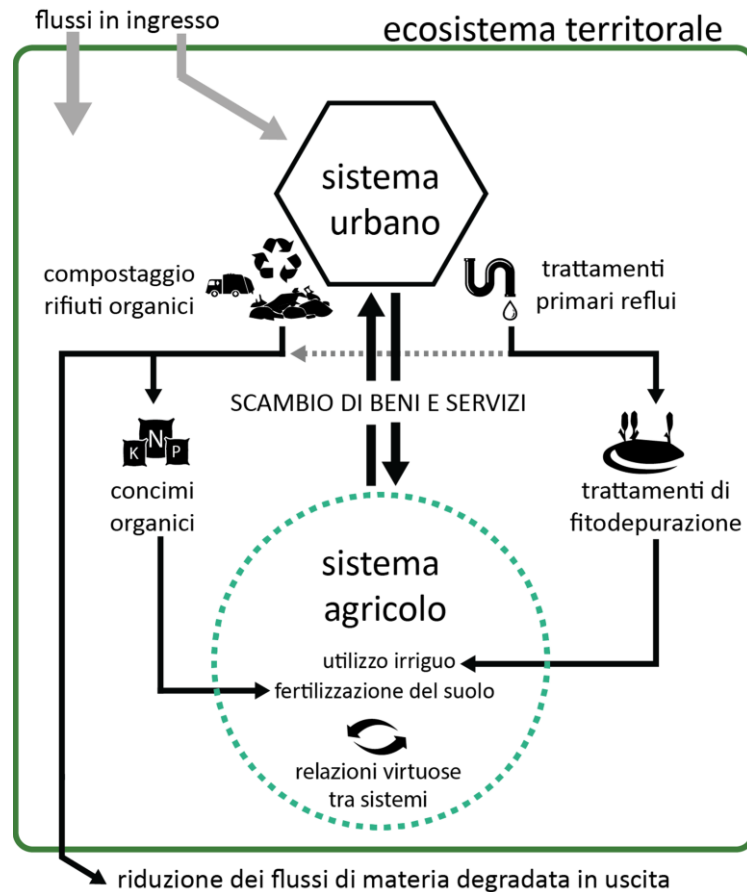
- *Pretrattamento*: grigliatura, dissabbiatura, disoleatura, sfioro acque di piena, sollevamento
- *Trattamento primario*: sedimentazione
- *Trattamento secondario*: fanghi attivi, filtri percolatori, biodischi

Trattamenti terziari e di finissaggio:

- *Trattamenti terziari*: nitrificazione-denitrificazione, defosfatazione
- *Trattamenti di finissaggio*: filtrazione
- *Trattamenti di disinfezione*: clorazione

La fitodepurazione può essere applicata a reflui di diversa natura (domestica, industriale, agricola) e può essere utilizzata per il trattamento secondario, andando a sostituire gli impianti a fanghi attivi, e per il trattamento terziario dei reflui.

L'applicazione del metodo di fitodepurazione ai trattamenti terziari consente di poter recuperare le acque reflue per usi irrigui ed industriali.



Esempio di alcune relazioni che possono instaurarsi tra il sistema urbano e il sistema rurale. Alcuni flussi in uscita dal sistema urbano possono trasformarsi in flussi di ingresso del sistema agricolo, contribuendo così ad aumentare l'autosostenibilità stessa dell'ecosistema territoriale.

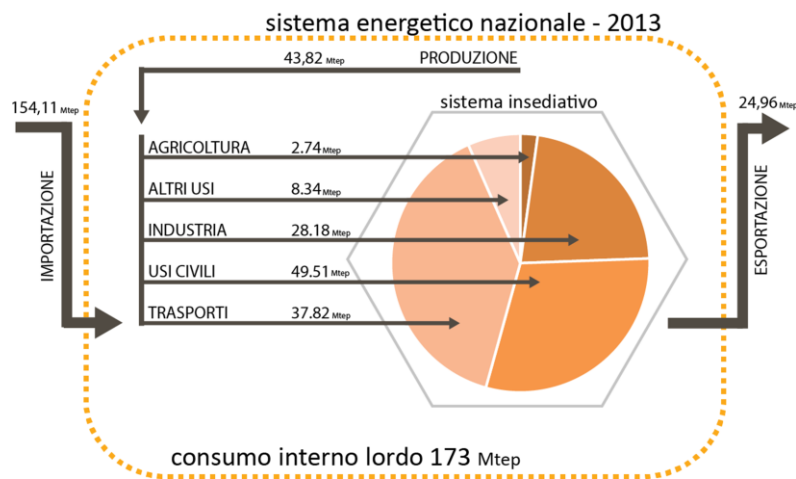
2.5 Le risorse energetiche

L'agricoltura è solo il caso più eclatante in cui si osserva la possibilità di invertire effettivamente il processo di degradazione entropica (in cui si formano riserve neghentropiche).

Infatti le azioni capaci di creare bassa entropia in senso assoluto non sono necessariamente legate all'addomesticamento dei cicli della biosfera. La produzione energetica per mezzo delle tecnologie solari è un esempio chiaro. Produrre energia elettrica mediante la combustione di materiali fossili non rinnovabili (carbone, oli combustibili, metano ecc.) è ovviamente uno dei processi più entropici e quindi meno sostenibili (nessuno riproduce il metano o il carbone o il petrolio dopo la combustione, e quindi tenderanno a esaurirsi). Produrre energia elettrica mediante l'uso delle varie tecnologie solari non è più insostenibile, anzi è uno dei processi in cui è possibile ottenere un netto neghentropico incessante nel tempo (e quindi la durevolezza).

Produrre energia mediante la tecnologia idroelettrica o a pannelli solari attivi significa avere a disposizione una fonte a bassa entropia diluita nel tempo. Non è un caso che già Geddes pensasse che l'uso dell'energia elettrica (ed aveva in mente le centrali idroelettriche) potesse produrre nuove «eutopie» a dispetto delle «kakotopie» prodotte dalla tecnologia legata al carbone. (Saragosa, 2005)

Di seguito si riporta il bilancio energetico nazionale, dove i flussi di diversa tipologia energetica sono espressi in termini di milioni tonnellate di petrolio equivalenti (Mtep). Ciò può esserci utile per capire il reale potenziale energetico che l'energia radiante del sole ci offre durante l'anno.



Il Bilancio dell'energia in Italia (Milioni di tonnellate equivalenti di petrolio - Mtep)

	2013		2014					Var % (2014/13)
	Totale	Solidi	Gas	Petrolio	Rinnovabili	Energia elettrica	Totale	
Produzione	43,821	0,315	5,855	5,764	33,108		45,043	2,8%
Importazione	154,114	13,756	45,665	71,770	2,321	10,279	143,790	-6,7%
Esportazione	24,956	0,208	0,196	20,118	0,069	0,665	21,255	-14,8%
Consumo interno lordo	172,994	13,466	50,704	57,303	35,342	9,615	166,430	-3,8%

Consumi di energia in Italia (Milioni di tonnellate equivalenti di petrolio - Mtep)

	2013		2014					Var % 2014/13
	Totale	Solidi	Gas	Petrolio	Rinnovabili	Energia.el	Totale	
Industria	28,175	2,821	11,876	3,863	0,036	9,114	27,709	-1,7
Trasporti	37,823		0,860	36,248	1,078	0,902	39,088	3,3
Usi civili	49,510	0,003	21,147	2,800	6,749	13,534	44,233	-10,7
Agricoltura	2,736		0,123	2,091	0,007	0,473	2,694	-1,5
Usi non energetici	5,912	0,068	0,508	4,204			4,780	-19,1
Bunkeraggi	2,431			2,300			2,300	-5,4
	126,587	2,892	34,513	51,506	7,870	24,023	120,804	-4,6

Schema interpretativo del bilancio energetico nazionale espresso in milioni di tonnellate di petrolio equivalente.

Fonte: Interpolazione dati del Ministero dello sviluppo economico, il Bilancio Energetico Nazionale

La radiazione luminosa proveniente dal sole viene in parte assorbita dall'atmosfera terrestre dando luogo ad una serie complessa di fenomeni fisici attraverso cui si vengono a formare il vento e la pioggia. Una parte notevole della radiazione attraversa però lo spessore atmosferico e viene trasmessa al suolo. Qui, la parte che non viene catturata viene riflessa verso l'atmosfera e irradiata nuovamente nello spazio. In Italia tale radiazione può essere valutata in circa 1500 kWh per metro quadro per anno (media ponderata tra i 1200 kWh delle Alpi e i 1900 kWh del Sud della Sicilia). Si ottiene con un semplice calcolo che la quantità di energia solare presente al suolo a livello nazionale ammonta a circa 40.000 Mtep (milioni di tonnellate di equivalenti petrolio) all'anno a fronte di un consumo attuale, nel 2013, di circa 173 Mtep all'anno, l'energia solare disponibile è quindi teoricamente di gran lunga sovrabbondante rispetto al fabbisogno energetico nazionale.

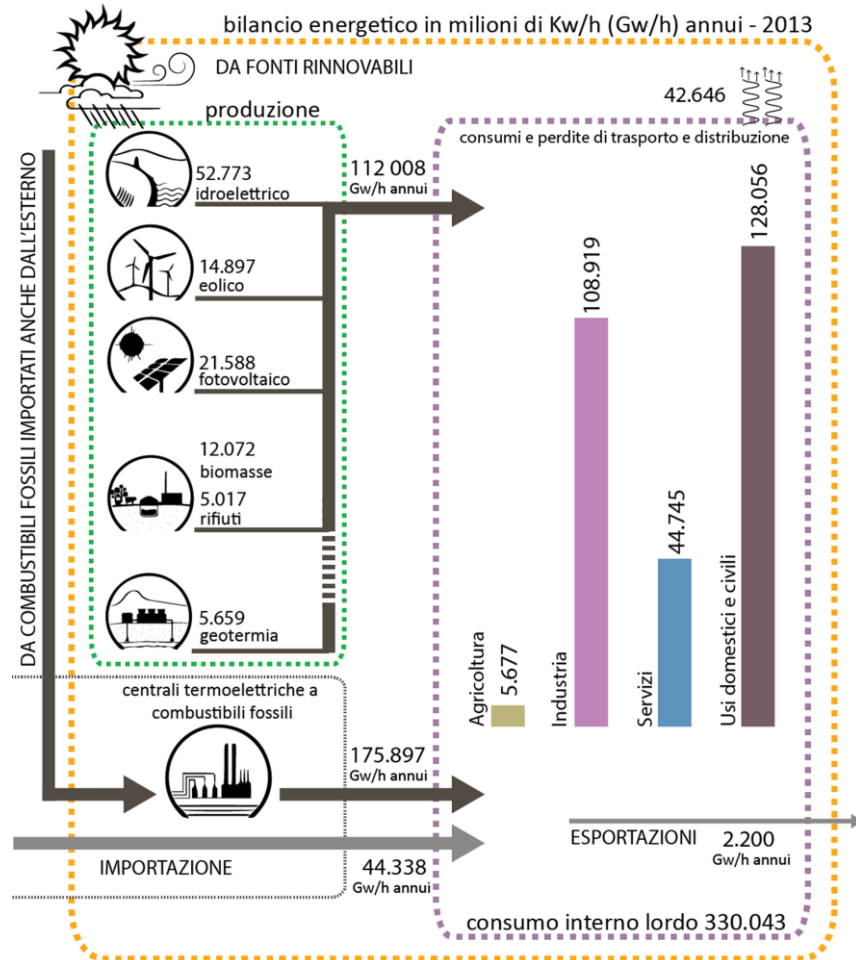
L'energia "solare secondaria" disponibile al suolo costituisce il motore fondamentale della maggior parte delle cosiddette energie rinnovabili, come quella eolica, quella solare termica e fotovoltaica, quella delle biomasse. Tutte queste "fonti" energetiche derivano da effetti direttamente o indirettamente generati da tale radiazione: sole, pioggia, vento, ecc..

Tali forme di energia sono dette risorse energetiche rinnovabili e possono essere classificate in:

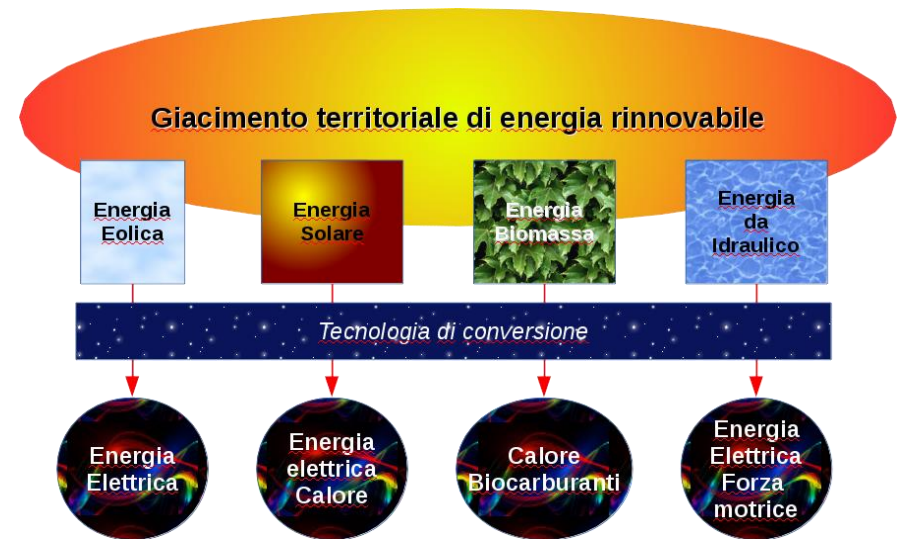
- energia derivante dall'irraggiamento solare (per produrre energia chimica, energia termica ed energia elettrica);
- energia derivante dal vento (fonte di energia meccanica ed energia elettrica);
- energia da biomasse (combustione, in appositi impianti per generazione termica e cogenerazione di calore ed elettricità, biocarburanti);
- energia derivante dalle maree e le correnti marine in genere;

- energia derivante dalle precipitazioni utilizzabili tramite il dislivello di acque (fonte idroelettrica);
- energia derivante dal calore proveniente dal sottosuolo (fonte geotermica, unica forma di energia rinnovabile non originata dalla radiazione solare).

In conclusione il territorio può essere visto come la sede di “giacimenti” di energia rinnovabile (figura 20), aventi ciascuno una densità di energia caratteristica (vedi successiva tabella 10), il cui valore determina la possibilità e la convenienza per lo sfruttamento. Le diverse tecnologie delle fonti rinnovabili permettono di “coltivare i giacimenti”, attingendo da essi l’energia rinnovabile in forma finale e sostenibile a livello territoriale.



Schema interpretativo del bilancio energetico inerente alla produzione di energia elettrica da fonti fossili e rinnovabili e i relativi consumi per settore espresso in Gw/h annui. Fonte: Interpolazione dati del Ministero dello sviluppo economico Energetico



In definitiva emerge da queste considerazioni il concetto fondamentale che l’energia rinnovabile è un argomento da considerare sempre come intimamente collegato al territorio. La disponibilità di siti di caratteristiche energetiche interessanti e di ampiezza adeguata è una condizione indispensabile per impostare qualunque discorso pratico intorno all’uso delle fonti rinnovabili.

La densità superficiale dell'energia rinnovabile

La tabella di fianco riporta la situazione odierna della densità di energia reperibile annualmente al suolo da parte delle diverse fonti rinnovabili, nello stato della tecnologia in cui si trovano oggi. Per confrontare i diversi potenziali si sono trasformate tutte le unità di misura in tonnellate equivalenti di petrolio (tep). L'ultima colonna riporta i risultati finali. Emerge subito dal confronto che la più alta densità di energia è fornita dal solare termico, seguito a breve distanza dal fotovoltaico e dal solare termodinamico e poi l'eolico e le altre fonti. E' possibile anche notare come la densità di energia da biomasse sia molto più bassa delle altre di uno, due ordini di grandezza. Ciò è dovuto al fatto che il prodotto finale in questo caso deriva dalla radiazione solare attraverso una lunga catena di processi chimico-fisici, le cui efficienze producono un effetto cumulativo di notevole riduzione. Una situazione ancora più svantaggiosa si presenta nel caso dell'idroelettrico, che ha bisogno di vasti bacini di raccolta idrica per concentrare l'energia idraulica nelle centrali elettriche. Prescindiamo in questa fase dai costi e supponiamo di voler utilizzare l'insieme delle nuove fonti rinnovabili, schematizzate con un rendimento medio di 10000 tep/km². Collochiamo gli impianti in modo diffuso sul territorio onde evitare eccessivi problemi d'impatto e supponiamo di poter occupare l'8% del suolo. Il risultato è che le attuali tecnologie permetterebbero di produrre circa 240 Mtep all'anno contro i 173 Mtep del fabbisogno odierno(2013). Questo semplice esempio, anche senza voler assegnare ai numeri mostrati un particolare valore, mostra comunque come il discorso generale abbia una sua consistenza sostanziale.

FONTE RINNOVABILE	Tipo di energia prodotta	Densità di energia sul terreno (E/km²)	Energia chimica equivalente al petrolio per km²
Eolico	<i>Elettrica</i>	(13 ÷ 18) GWh	(2.9 ÷ 4.0) x 10 ³ tep
Solare termico	<i>Termica</i>	(736 ÷ 800) TJ	(21 ÷ 22) x 10 ³ tep
Solare termodinamico: tecnologia CRS tecnologia DCS	<i>Elettrica</i>	(30 ÷ 41) GWh (43 ÷ 65) GWh	(6.7 ÷ 8.9) x 10 ³ tep (9.6 ÷ 14) x 10 ³ tep
Solare fotovoltaico	<i>Elettrica</i>	(68 ÷ 76) GWh	(15 ÷ 17) x 10 ³ tep
Biomasse: usi termici	<i>Termica</i>	(24 ÷ 42) TJ	(0.57 ÷ 1.0) x 10 ³ tep
Biomasse: biocombustibili	<i>Chimica</i>	(1 ÷ 3) TJ	(0.024 ÷ 0.072) x 10 ³ tep
Idroelettrico	<i>Elettrica</i>	(0.02 ÷ 0.06) GWh	(0.004 ÷ 0.013) x 10 ³ tep

Densità energetica territoriale delle varie fonti rinnovabili.

2.6

Conclusioni

L'agricoltura e la produzione di energia sono settori in cui è possibile arrivare a bilanci entropici positivi (attraverso la serie di regole che potremmo considerare come azioni sostenibili in assoluto). Anche per la gestione della risorsa idrica, attraverso delle opportune tecniche irrigue e di recupero delle acque superficiali, si possono raggiungere dei risultati considerevoli.

Alcune tecnologie da fonti rinnovabili possono, oltre che creare energia, avere delle ricadute occupazionali sul sistema locale. Ad esempio le filiere di risorse rinnovabili da biomasse derivate dalla produzione forestale o dagli scarti dell'agricoltura e della manutenzione del verde (ad es potature, residui vegetali agricoli, etc). L'utilizzo di queste risorse per la produzione energetica all'interno dell'ecosistema territoriale ridurrebbe sensibilmente la dipendenza del sistema stesso dai flussi energetici esterni.

A livello architettonico invece il campo dell'efficiamento energetico (come ad es. gli isolamenti termici negli edifici, caldaie ad alta efficienza, pompe geotermiche, etc) offre molte soluzioni. Tra queste alcune possono essere di nostro interesse per l'autosostenibilità dell'ecosistema territoriale: ed esempio il sughero è considerato, assieme alla lana di pecora, uno dei maggiori isolanti nel settore, con livelli di conducibilità termica pari agli isolanti di natura fossile. A questo vanno aggiunti la minor dispersione energetica per la lavorazione e la possibilità di reperire le risorse necessarie in loco. Anche la fibra di canapa si è affermata come un ottimo isolante nel campo della bioedilizia. La differenza tra isolanti termici organici e non organici, a parità di conducibilità termica, sta proprio nel fatto che i primi esercitano un minor impatto ambientale e sono facilmente reintegrabili nell'ambiente di riferimento e, come detto, spesso possono

facilmente essere reperite e prodotte a livello locale e sono in grado di attivare filiere complesse.

In altri settori però difficilmente giungeremo mai agli stessi risultati. Fra questi, i settori collegati al sistema della mobilità e dei trasporti. Muoversi o trasportare merci sono sempre attività che producono flussi entropici qualora non si adottino tecniche legate al vento. Specialmente oggi il sistema della mobilità e i trasporti sono azioni particolarmente entropiche. In un'analisi tutta economica del sistema di scambio è evidente che vi è una convenienza a spostarsi e trasportare merci. Beni che potrebbero essere prodotti in più parti tendono invece a esserlo in località specializzate e poi trasportati. Nel mondo della globalizzazione dell'economia anche le merci più banali sono incessantemente trasportate da e in ogni continente.

Un bilancio entropico della mobilità e dei trasporti è forse quello che dà risultati più gravi: si tratta di una delle attività da considerarsi più insostenibili dal punto di vista ambientale e quindi in questi settori sono possibili solo azioni sostenibili relative, anche se molto significative, come ad esempio l'incentivo all'uso della mobilità dolce attraverso la creazione di una rete di piste ciclabili urbane ed extraterritoriali.

I campi che possono essere indagati con il metodo del bilancio entropico sono ovviamente i più vari. L'applicazione interscalare del metodo consente l'analisi a sistemi, in termini spaziali, più o meno estesi. Dalla bioregione all'ecosistema territoriale, dal sistema urbano al quartiere, dal sistema rurale all'unità podereale. Ciò consente di definire degli scenari in cui è la *autosostenibilità* dell'ecosistema stesso che genera la sua trasformazione.

Ogni azione dovuta a una relazione fra insediamento umano e ambiente può essere studiata facendo ricorso allo strumento del bilancio entropico. Visto che ogni relazione fra un sistema aperto e il proprio ambiente attiva un flusso di materia, di energia o di informazione, potremo vagliare ogni azione rispetto all'entropia prodotta proprio per ogni tipo di flusso.

Il modello dell'ecosistema territoriale, costituito dagli insediamenti umani autocentrati nel proprio ambiente di entrata e di uscita, dovrebbe tendenzialmente costituire uno stato stazionario, oltre che sostenibile, durevole nel tempo. A livello progettuale ciò si traduce nella messa in pratica dei valori propri di una *comunità rigenerativa*, che prevede la sostituzione continua, attraverso propri processi funzionali, dell'energia e degli elementi utilizzati per il suo funzionamento, considerando che *“the landscape must be designed for supporting ongoing supplies of energy and materials for habitat, daily living and economic activity.”* (Lyle, 1994)

3

Le risorse idriche

3.1. Il bilancio idrico

Il bilancio idrico è la comparazione, nel periodo di tempo considerato, fra le risorse idriche disponibili in un determinato bacino o sottobacino superficiale e sotterraneo, al netto delle risorse necessarie alla conservazione degli ecosistemi acquatici ed i fabbisogni per i diversi usi (esistenti o previsti).

Per la stima del bilancio idrico, devono dunque essere noti sia gli elementi conoscitivi di base caratteristici del bilancio idrologico e descritti nella Parte I: afflussi, evapotraspirazione, infiltrazione, e deflussi idrici. Inoltre è necessario determinare i fabbisogni attuali e la prevedibile evoluzione futura di essi anche in funzione delle strategie di risparmio idrico, di contenimento delle perdite e di eliminazione degli sprechi.

I fabbisogni idrici sono distinti nei seguenti settori principali di utilizzazione:

- a) uso potabile (e civile non potabile ad es. la piscicoltura);
- b) uso agricolo;
- c) uso industriale;
- d) uso idroelettrico;
- e) uso per attività turistiche e ricreative;
- f) altri usi (p.e. la navigazione interna, la pesca, ecc).

Una volta ricostruito il bilancio idrologico e valutata la risorsa idrica utilizzabile, la condizione di sostenibilità del bilancio idrico di un bacino o sottobacino si può esprimere mediante la seguente disequaglianza:

$$R_{ut} \geq \sum F_i$$

con:

$$R_{ut} = R_{fal} + R_{def} + R_{bac}$$

dove:

R_{ut} = risorsa idrica superficiale e sotterranea utilizzabile nel bacino o sottobacino;

R_{fal} = risorsa idrica emunta nelle falde

R_{def} = risorsa idrica derivata dal deflusso superficiale

R_{bac} = risorsa idrica derivante dai bacini naturali (laghi) e artificiali (dighe).

F_i = fabbisogni potabili, agricoli, industriali,

Per quanto riguarda il prelievo di acqua di falda, perché questo sia sostenibile è necessario che l'entità dell'acqua emunta sia inferiore alla capacità di ricarica della falda stessa, approssimata dall'entità delle infiltrazioni annuali (I) calcolate nell'ambito del bilancio idrologico del bacino:

$$R_{fal} < I.$$

Il prelievo dell'acqua da deflusso idrico (D) è più complesso, in quanto soggetto a variazioni stagionali. In linea generale, nell'unità di tempo t (generalmente nella valutazione delle portate si utilizza il secondo) il prelievo deve essere tale da garantire una sufficiente portata per la sopravvivenza degli ecosistemi acquatici, il cosiddetto "deflusso minimo vitale" (DMV):

$$D/t - R_{def}/t > DMV/t.$$

Il deflusso minimo vitale è un parametro di difficile calcolo che dovrebbe essere stimato con metodi diretti o indiretti nel cosiddetto “piano di tutela delle acque” obbligatorio per ogni bacino idrografico. In figura è riportato un esempio del risultato dell'attività di monitoraggio delle portate in confronto al deflusso minimo vitale per il fiume Ombrone grossetano.

E' da osservare che, il DMV può assumere valori nulli in tronchi di corsi d'acqua a carattere intermittente durante periodi “naturali” di asciutta dovuti ad assenza di precipitazioni o a locali condizioni di rilevante permeabilità del letto del corso d'acqua stesso.

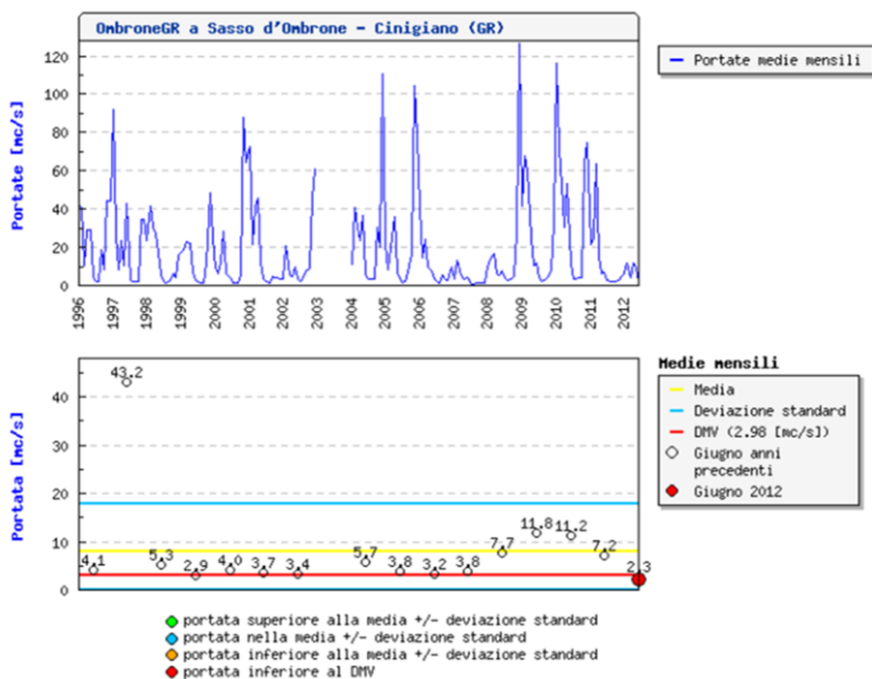


Figura 1: Esempio di valutazione della sostenibilità delle portate rispetto al Deflusso Minimo Vitale (DMV) (fonte: Regione Toscana).

La stima del DMV può essere effettuata con due tipi di metodologie: metodi regionali e metodi sperimentali. I metodi regionali esprimono il DMV in funzione di caratteristiche morfologiche ed idrologiche del bacino o del sottobacino. Si distinguono a seconda delle grandezze assunte come variabili indipendenti in:

- metodi con variabili morfologiche: questi metodi sono basati sulla definizione di “contributo specifico” (portata per unità di superficie); la variabile indipendente è la sola superficie del bacino sotteso. Spesso, per la massima semplificazione, il valore del contributo unitario minimo è assunto costante in un ambito territoriale abbastanza esteso; Un esempio è riportato in figura 2.

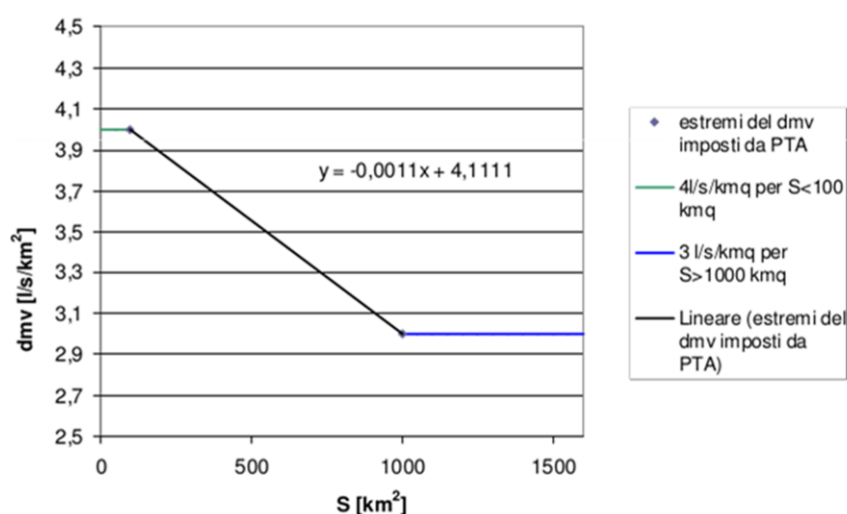


Figura 2: Esempio di metodo indiretto del calcolo del DMV: Grafico di interpolazione lineare dei valori del deflusso minimo vitale dettati dal PTA della Regione Veneto in funzione della superficie del bacino sotteso alla sezione di chiusura.

- metodi con variabili idrologiche semplici: in questi metodi la portata minima vitale è funzione – di solito mediante leggi di diretta proporzionalità – di alcuni valori caratteristici del deflusso nella sezione considerata (per esempio: della portata media mensile, portata media annua¹⁷, ecc.); Per esempio, l'autorità di bacino del fiume Magra prevede il rispetto congiunto dei seguenti tre requisiti per derivazioni di uso irriguo:
 - $Q_{\text{max derivazione}} \leq 1/3$ della portata “abituale”¹⁸ estiva
 - $Q_{\text{rilascio minimo}} \geq 1/3$ della portata “abituale” estiva
 - $Q_{\text{max derivazione}} \leq 0.46$ litri/sec · superficie irrigua
- metodi con variabili statistiche: sono basati sulla analisi statistica di particolari valori di frequenza o di durata dei deflussi.

I metodi sperimentali sono basati su tecniche di rilevamento finalizzate all'accertamento delle condizioni ambientali ottimali per una prefissata specie dell'ecosistema acquatico del fiume, detta “specie guida”; hanno quindi validità esclusivamente locale e limitata alle specie considerate.

¹⁷ I valori delle portate dei corsi d'acqua toscani monitorati sono disponibili presso il Servizio Idrologico Regionale (<http://www.sir.toscana.it/index.php?IDS=2&IDSS=6>).

¹⁸ Per “portata abituale” si intende la media delle mediane delle portate di luglio agosto e settembre, per la serie storica disponibile.

3.2

La stima dei fabbisogni.

3.2.1. Fabbisogni civili.

Il fabbisogno idrico rappresenta il volume di acqua necessario per i diversi usi. Per quanto riguarda il consumo civile si distinguono le seguenti tipologie di utenze:

- utenze delle abitazioni private che comprendono principalmente quelli per alimentazione, pulizia personale, cucina, lavaggio biancheria, pulizia della casa, innaffiamento dei giardini privati, pulizia delle auto, pulizia degli spazi condominiali, piscine private, ecc.
- utenze di edifici pubblici e istituti collettivi quali ospedali/cliniche private, scuole/università, caserme, mercati, penitenziari, ospizi, orfanotrofi, mattatoi, banche, uffici pubblici e privati, istituti religiosi, ecc.,
- utenze per servizi pubblici vari quali fontanine pubbliche, lavaggio delle strade, innaffiamento giardini pubblici, impianti portuali (in particolare per il rifornimento delle navi), impianti ferroviari, impianti aeroportuali, servizio antincendio, impianti sportivi, pulizia serbatoi, pulizia fogne, ecc.
- utenze commerciali e turistiche, alberghi, pensioni campeggi, ristoranti, bar, esercizi commerciali in genere, ecc.;
- utenze artigianali e industriali, lavanderie, autolavaggi, officine meccaniche, stazioni di servizio, piccole industrie che prelevano dalla rete potabile acqua necessaria al personale ed i servizi igienici nonché ad eventuali specifici cicli di produzione.

- In mancanza di dati direttamente rilevati, il fabbisogno idrico si può stimare, in modo speditivo, attraverso coefficienti tecnici che in genere esprimono la necessità di acqua per singolo abitante e per giorno (indici di dotazione idrica media annua pro-capite), come mostrato in tabella 1.

Popolazione	Dotazione (l/g x ab)
Case sparse	120-160
< 5.000	150-220
da 5.000 a 10.000	180-250
da 10.000 a 20.000	200 - 270
da 20.000 a 50.000	220 - 300
da 50.000 a 100.000	250 - 400
da 100.000 a 250.000	400 - 500
da 250.000 a 1.000.000	450 - 550
> 1.000.000	500 - 750

Tabella 1: Dotazioni idriche per abitante e per giorno

I coefficienti di dotazione idrica sono riferiti alla popolazione residente e comprendono non solo la quantità di acqua consumata da un individuo ma anche la ripartizione per cittadino dell'acqua consumata dagli ospedali, dalle scuole, e dalle altre strutture pubbliche presenti nella città. Anche l'acqua che viene distribuita per lavanderie, ristoranti, bar ed altre attività commerciali ed industriali allacciate all'acquedotto che sono distribuite all'interno del medesimo tessuto urbano sono conteggiate nella dotazione idrica pro-capite.

Per quanto riguarda invece la popolazione non residente, questa viene classificata in giornaliera (popolazione che si reca saltuariamente nel centro abitato per affari, vacanza senza pernottamento, per acquisti, per disbrigo pratiche, i pendolari, ecc.) o stagionale (dovuta principalmente ai flussi turistici). Per la dotazione di consumo per i fluttuanti giornalieri, si considera generalmente un valore pari a 100 litri per abitante e per giorno, mentre per gli stagionali 200 litri per abitante e per giorno.

3.2.2. Il fabbisogno industriale.

L'acqua è impiegata dall'industria o come materia prima (industrie chimiche, alimentari, ecc.) o come mezzo di produzione (per raffreddamento, produzione di vapore, lavaggio, ecc). Il consumo di acqua per singola attività industriale è molto variabile ed anche in questo caso in mancanza di un rilievo diretto, in termini speditivi si può fare ricorso a coefficienti tecnici di consumo per giorno e per addetto (operaio), differenziati secondo la classificazione delle attività produttive adottata dall'ISTAT. Un esempio di tali coefficienti è riportato nelle tabelle 2 e 3.

CODICE ISTAT	DESCRIZIONE ATTIVITA'	COEFFICIENTE TECNICO (mc/addetto/anno)
10	Estrazione carbon fossile, lignite, torba	1600
11	Estrazione petrolio e gas naturale	1600
13	Estrazione di minerali metalliferi	1600
14	Altre industrie estrattive	1720
15	Industrie alimentari e delle bevande	1986
16	Industria del tabacco	349
17	Industrie tessili	1300
18	Industria dell'abbigliamento	50
19.1-2	Pelli e cuoio	999
19.3	Calzature	26
20	Industrie del legno e prodotti in legno	1100
21	Fabbr. pasta-carta, carta e artic. carta	6077
22	Editoria e stampa	50
23	Fabbr. coke, raff. petrolio, tratt. comb. nucl.	8634
24	Fabbr. prod. chimici, fibre sint. e artificiali	8067
25	Fabbr. articoli in gomma e materie plastiche	1252
26.1	Fabbr. vetro e prodotti in vetro	2250
26.2-3	Ceramica	750
26.4-8	Materiali da costruzione, etc.	1236
27	Produzione di metalli e loro leghe	3800
28	Fabbricazione prodotti in metallo	1000
29	Fabbr. e installaz. macchine e app. meccan.	67
30	Fabbr. macchine ufficio, sistemi informatici	370
31	Fabbr. macchine e apparec. elettrici n.c.a.	370
32	Fab. apparec. radio-tv e per le comunicaz.	370
33	Fab. apparec. medici, di prec., ottici, orolog.	330
34	Fabbricazione autoveicoli e rimorchi	500
35	Fabbricazione altri mezzi di trasporto	500
36.1	Fabbricazione mobili e infissi	50
36.2	Oreficeria e gioielleria	50

Tabella 2: Coefficienti tecnici di consumo per addetto per attività produttiva secondo la classificazione ATECO (ISTAT). Fonte: Provincia di Napoli.

CODICE ISTAT	DESCRIZIONE ATTIVITA'	COEFFICIENTE TECNICO (mc/addetto/anno)
36.3-6	Altre industrie manifatturiere	50
37.1	Recup. e prepar. per ricicl. cascami e rottami metallici	50
37.20.1	Recup. e prepar. per ricicl. materiale plastico	500
37.20.2	Recup. e prepar. per ricicl. rif. sol. urb., ind., biomasse	50
40.1	Produtz. e distribuz. energia elettrica	300
40.2	Produtz. gas e distribuz. comb. gassosi in condotta	50
40.3	Produtz. e distribuz. vapore e acqua calda	100
41	Raccolta, depuraz. e distribuz. acqua	0
45	Costruzioni	4

Tabella 3: Segue tabella consumo idrico per addetto.

3.2.3. Consumi agricoli.

Il consumo idrico in agricoltura è dovuto in larga massima alla irrigazione delle coltivazioni nei periodi di stress idrico, quando la necessità di acqua della singola pianta supera la disponibilità presente nel suolo. Il calcolo del fabbisogno irriguo quindi dipende da molti fattori, quali la specie coltivata (più o meno idroesigente), il livello di sviluppo (crescita) raggiunto, l'andamento delle precipitazioni, il tipo di suolo, le eventuali consociazioni, ecc..

Il fabbisogno idrico di una coltura può essere stimato tramite la evapotraspirazione potenziale (ETP) corretta tramite un "coefficiente colturale" (Kc). Tale coefficiente esprime il rapporto fra evapotraspirazione reale della pianta (ETR) ed evotraspirazione potenziale così come calcolata al capitolo 1:

$$Kc = ETP / ETR;$$

il fabbisogno idrico (FI) di una coltura di superficie S per un intervallo di

tempo dt sarà quindi esprimibile con¹⁹:

$$FI(dt) = Kc \times ETP \times S \times dt$$

Il coefficiente Kc sarà diverso man mano si susseguono gli stadi fenologici della coltura, pertanto l'intero ciclo colturale può essere diviso in quattro stadi differenti: iniziale, crescita, stagione intermedia e stagione terminale (Figura 3).

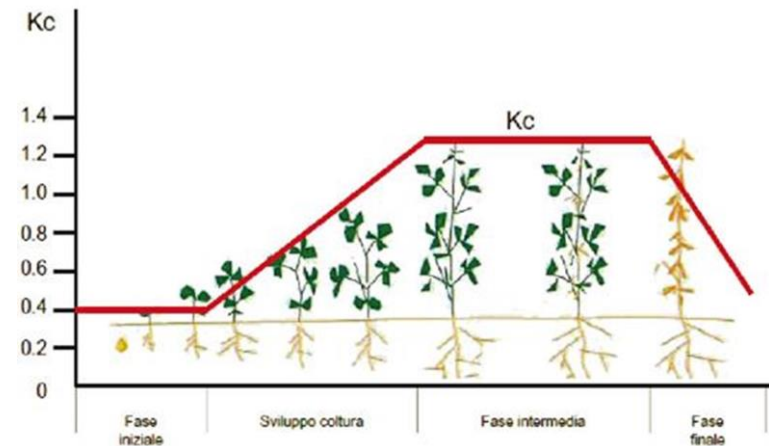


Figura 3: Variazione del Kc nelle diverse fasi di crescita delle piante.

Lo stadio iniziale comprende dalla piantagione per le colture annuali o la comparsa della nuova vegetazione per quelli pluriannuali, fino approssimativamente il 10% di copertura della superficie. La lunghezza di questo periodo dipende principalmente dalla coltura e dalle varietà, dalla data di piantagione e dalle condizioni climatiche locali. Durante questo stadio l'area fogliare è ridotta e la evapotraspirazione sarà fondamentalmente dovuta a la evaporazione dell'acqua dalla superficie del terreno. Lo stadio della crescita inizia dalla copertura del 10% della superficie del terreno fino alla completa copertura dello stesso. Man mano

¹⁹ Ovviamente S e ETP dovranno essere espresse nelle stesse unità di misura p.e. metri.

che la coltura cresce l'ombreggiatura del terreno diventa maggiore e diminuisce la componente evaporazione quindi la traspirazione prenderà gradualmente, il sopravvento nel fenomeno di evapotraspirazione. Per una gran parte delle colture la copertura totale del terreno avviene con l'inizio della fioritura. Lo stadio intermedio parte dalla completa copertura del terreno fino all'inizio della maturazione. Questo punto di partenza coincide frequentemente con la manifestazione dei sintomi di invecchiamento, ingiallimento e posteriore abscissione delle foglie o cambiamento della colorazione dei frutti. Questo stadio è quello più lungo per tante colture ma può essere molto breve per taluni ortaggi destinati al consumo fresco ed apprezzati per la loro vegetazione. Lo stadio terminale incomincia con l'inizio della maturazione per arrivare alla raccolta o la completa senescenza delle piante. Nelle tabelle 4 e 5 sono riportati alcuni esempi di durata delle fasi di crescita e coefficienti Kc calcolati dalla FAO.

Coltura	Init. (L _{ini})	Dev. (L _{dev})	Mid (L _{mid})	Late (L _{late})	Total	Data piantumazione	Area
a. Small Vegetables							
Broccoli	35	45	40	15	135	Sept	Calif. Desert, USA
Cabbage	40	60	50	15	165	Sept	Calif. Desert, USA
Carote	30	40	60	20	150	Feb/Mar	Mediterranean
Sedano	25	40	45	15	125	April	Mediterranean
Crucifere	20	30	20	10	80	April	Mediterranean
	25	35	25	10	95	February	Mediterranean
	30	35	90	40	195	Oct/Nov	Mediterranean
Lattuga	20	30	15	10	75	April	Mediterranean
	30	40	25	10	105	Nov/Jan	Mediterranean
	35	50	45	10	140	Feb	Mediterranean
Cipolla (a secco)	15	25	70	40	150	April	Mediterranean
Cipolla (verde)	25	30	10	5	70	April/May	Mediterranean
Cipolla (seme)	20	45	165	45	275	Sept	Calif. Desert, USA
Spinaci	20	20	15/25	5	60/70	Apr; Sep/Oct	Mediterranean
Ravanello	5	10	15	5	35	Mar/Apr	Medit.; Europe
b. Vegetables - Solanum Family (Solanaceae)							
Melanzana	30	45	40	25	40	May/June	Mediterranean
Peperoni	25/30	35	40	20	125	April/June	Europe and Medit.
Pomodoro	30	40	45	30	145	April/May	Mediterranean

Tabella 4: Durata delle fasi di crescita della pianta (Fonte FAO).

c. Vegetables - Cucumber Family (Cucurbitaceae)							
Cantalupo	30	45	35	10	120	Jan	Calif., USA
	10	60	25	25	120	Aug	Calif., USA
Zucca	20	30	30	20	100	Mar, Aug	Mediterranean
	25	35	35	25	120	June	Europe
Zucchini	25	35	25	15	100	Apr; Dec.	Medit.; Arid Reg.
	20	30	25	15	90	May/June	Medit.; Europe
Meloni dolci	25	35	40	20	120	May	Mediterranean
	30	30	50	30	140	March	Calif., USA
	15	40	65	15	135	Aug	Calif. Desert, USA
Angurie	20	30	30	30	110	April	Italy
d. Roots and Tubers							
Barbabietole	15	25	20	10	70	Apr/May	Mediterranean
	25	30	25	10	90	Feb/Mar	Mediterranean & Arid
Patata	30	35	50	30	145	April	Europe
	30	35	50	25	140	Dec	Calif. Desert, USA
Patata dolce	20	30	60	40	150	April	Mediterranean
Barbabietola da zucchero	30	45	90	15	180	March	Calif., USA
	25	30	90	10	155	June	Calif., USA
	25	65	100	65	255	Sept	Calif. Desert, USA
	25	35	50	50	160	May	Mediterranean
	45	75	80	30	230	November	Mediterranean
e. Legumes (Leguminosae)							
Fagioli (verdi)	20	30	30	10	90	Feb/Mar	Calif., Mediterranean
Fave	15	25	35	15	90	May	Europe
	20	30	35	15	100	Mar/Apr	Mediterranean
	a secco	90	45	40	60	235	Nov
verdi	90	45	40	0	175	Nov	Europe
Arachide	35	45	35	25	140	May May/June	Mediterranean
Lenticchia	20	30	60	40	150	April	Europe
Piselli	15	25	35	15	90	May	Europe
	20	30	35	15	100	Mar/Apr	Mediterranean
f. Perennial Vegetables (with winter dormancy and initially bare or mulched soil)							
Carciofo	40	40	250	30	360	Apr (1 st yr)	California
Asparago	90	30	200	45	365	Feb	Mediterranean
g. Fibre Crops							
Cotone	45	90	45	45	225	Mar	Calif. Desert, USA
Lino	25	35	50	40	150	April	Europe
h. Oil Crops							
Cartamo	20	35	45	25	125	April	California, USA
Girasole	25	35	45	25	130	April/May	Medit.; California
i. Cereals							
Orzo / Avena /Grano	20	50	60	30	160	Dec	Calif. Desert, USA
Grani (piccoli)	20	30	60	40	150	April	Mediterranean
Mais (dolce)	20	25	25	10	80	May/June	Mediterranean

Crop	K _{c ini}	K _{c mid}	K _{c end}
a. Small Vegetables	0.7	1.05	0.95
b. Vegetables - Solanum Family (<i>Solanaceae</i>)	0.6	1.15	0.80
c. Vegetables - Cucumber Family (<i>Cucurbitaceae</i>)	0.5	1.00	0.80
d. Roots and Tubers	0.5	1.10	0.95
e. Legumes (<i>Leguminosae</i>)	0.4	1.15	0.55
f. Perennial Vegetables (with winter dormancy and initially bare or mulched soil)	0.5	1.00	0.80
g. Fibre Crops	0.35		
h. Oil Crops	0.35	1.15	0.35
i. Cereals	0.3	1.15	0.4

Tabella 5: Coefficienti K_c per le principali tipologie di colture (Stime FAO)

Per dettagli sulle specifiche colture:

<http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e0b.htm>

Il fabbisogno irriguo di una coltura dipende quindi dalla differenza fra evapotraspirazione reale da parte della pianta e acqua disponibile nel suolo e utilizzabile da parte delle radici. A parità di altre condizioni la quantità d'acqua che l'apparato radicale estrae dal suolo è massima quando il contenuto d'acqua eguaglia la capacità di ritenzione del terreno (capacità i campo). In termini generali perciò il bilancio idrico di una coltura è dato da:

$$ETP \cdot K_c = Pe + Irr - \Delta Cc$$

con:

ETP = evapotraspirazione potenziale;

K_c = coefficiente culturale;

Pe = pioggia efficace per la coltura al netto di perdite per ruscellamento, per percolazione al di sotto della zona esplorata dalle radici e dell'acqua trattenuta dalle foglie²⁰ (tabella 6).

²⁰ La procedura adottata per la stima delle piogge utili è stata sviluppata dal Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti, Servizio per la conservazione del suolo (USDA - SCS),

		Evapotraspirazione mensile mm		
		10	20	30
Pioggia mensile mm	10	5.55	5.68	5.81
	20	12.13	12.41	12.70
	30	18.14	18.56	18.99
	40	23.79	24.35	24.91
	50	29.20	29.88	30.58
	60	34.42	35.22	36.04
	70	39.49	40.41	41.35
	80	44.43	45.47	46.53
	90	49.27	50.41	51.59
	100	54.01	55.26	56.55
	110	58.66	60.03	61.43
	120	63.25	64.72	66.23

Tabella 6: Valori di pioggia utile mensile in relazione a determinate coppie di valori pioggia-evapotraspirazione

Mantenendo il terreno in condizioni idriche ottimali per la pianta, $\Delta Cc = 0$:

$$Irr = 0 \quad \text{se } Pe > ETP \cdot K_c$$

$$Irr = ETP \cdot K_c - Pe \quad \text{se } Pe < ETP \cdot K_c$$

attraverso l'elaborazione congiunta di serie storiche di dati climatici e di valori di umidità del terreno relative a 22 stazioni sperimentali, caratterizzate da differenti condizioni climatiche e pedologiche. Tale metodo si basa su un'espressione empirica che determina la quota delle precipitazioni totali consumate per evapotraspirazione, con riferimento ad una data riserva idrica utilizzabile (RU), intendendo con essa il contenuto idrico compreso tra il punto di appassimento e la capacità di campo, limitatamente allo strato di terreno occupato dalle radici. L'espressione per il calcolo è la seguente:

$$Pu = fc [1,253 \times P^{0,824} - 2,935] \times 10^{(0,001 ET)}$$

in cui fc è il fattore di correzione che dipende dalla riserva idrica utilizzabile; assume il valore 1 per la condizione pedologica standard, P è il valore delle precipitazioni totali mensili (mm), ET rappresenta l'evapotraspirazione totale mensile (mm)

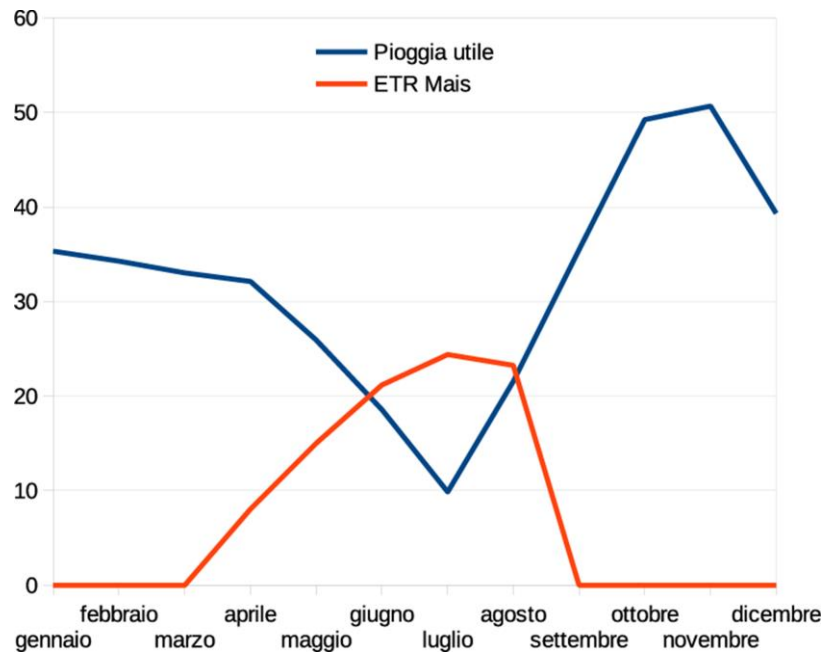


Figura 4: Pioggia utile ed evotraspirazione reale di una coltura di Mais. L'area in cui la curva ETR supera la pioggia utile rappresenta il fabbisogno irriguo.

Una volta calcolato il fabbisogno irriguo netto bisogna maggiorarlo considerando l'indice di efficienza dell'irrigazione (E_y). La coltura infatti non utilizza tutta l'acqua che le viene somministrata, in quanto una quota di questa si perde soprattutto in funzione del sistema di irrigazione adottato. L'indice di efficienza dell'irrigazione (E_y) è dato dal rapporto tra la quantità di acqua effettivamente utilizzata dalla coltura (fabbisogno idrico) e la quantità di acqua somministrata (fabbisogno irriguo). Questo rapporto teoricamente dovrebbe essere pari a 1 (tutta l'acqua somministrata viene utilizzata dalla coltura), ma nella realtà è sempre inferiore all'unità. L'efficienza dell'irrigazione varia molto con i sistemi irrigui adottati: da 0,85-0,90 nel sistema di irrigazione a microportata di erogazione (a goccia), da 0,75-0,85 nel sistema per aspersione (a pioggia), fino a valori di 0,5 o meno nei sistemi per gravità.

4

Le risorse forestali

4.1

La sostenibilità della selvicoltura

"LOUIS, etc. Quoique le désordre qui s'étoit glissé dans les eaux et forêts de notre royaume fût si universel et si invétéré, que le remède eu paroissoit presque impossible; néanmoins le ciel a tellement favorisé l'application de huit années que nous avons données au rétablissement de cette noble et précieuse partie de notre domaine, que nous la voyons aujourd'hui en état de reflurir plus que jamais, et de produire avec abondance au public tous les avantages qu'il en peut espérer, soit pour les commodités de la vie privée, soit pour les nécessités de la guerre, ou enfin pour l'ornement de la paix, et l'accroissement du commerce par les voyages de long cours dans toutes les parties du monde.

Mais comme il ne suffit pas d'avoir rétabli l'ordre et la discipline, si par de bons et sages réglemens on ne l'assure pour en faire passer le fruit à la postérité ; nous avons estimé qu'il étoit de notre justice, pour consommer un ouvrage si utile et si nécessaire, de nous faire rapporter toutes les ordonnances, tant anciennes que nouvelles, qui concernent la matière, afin que les ayant conférées avec les avis qui nous ont été envoyés des provinces par les commissaires départis pour la réformation des eaux et forêts, nous puissions sur le tout former un corps de lois claires, précises et certaines, qui dissipent toute l'obscurité des précédentes, et ne laissent plus de prétexte ou d'excuse à ceux qui pourront tomber en faute. A ces causes, après avoir ouï le rapport des personnes intelligentes et versées dans la matière, etc., nous plaît ce qui en suit"

Luigi XIV. ORDONNANCE POUR LES EAUX ET FORETS, 1669

Il rapporto fra l'uomo e il bosco non è mai stato semplice. Al bosco l'uomo si è rivolto per trarre beni materiali, ma anche con interessi etico-religiosi, estetici, igienici e ambientali. Il dualismo fra sfruttamento economico e preservazione dei "valori naturali" ha caratterizzato la storia delle civiltà e si trasferito dalle diverse regole e norme giuridiche che si sono succedute nei secoli anche nel pensiero scientifico forestale.

L'Edit de Louis XIV, che notoriamente fa da cardine fra regolamentazione normativa e approccio scientifico alla coltivazione del bosco evidenzia nella premessa la complessità del rapporto fra uomo e foresta: "... il bosco produce per le comodità della vita privata, per le esigenze della guerra, per l'ornamento della pace e per il commercio in tutto il mondo" e di seguito sottolinea la necessità di norme buone e sagge per poter garantire questi benefici ai posteri. La storia della selvicoltura è quindi da sempre basata sul principio di tramandare il bosco alle generazioni future, la cosiddetta sostenibilità.

4.2

I servizi ambientali del bosco.

Nel suo "Monoculture in the mind" Vandana Shiva scrive:

"There are in Asia today two paradigms of forestry, one life-enhancing, the other life-destroying. The life-enhancing paradigm emerges from the forest and the forest communities - the life-destroying from the market. The life-enhancing paradigm creates a sustainable, renewable forest system, supporting and renewing food and water systems. The maintenance of conditions for renewability is the primary management objective of the former. The maximising of profits through commercial extraction is the primary management objective of the latter. Since maximizing profits is consequent upon destruction of conditions of

renewability, the two paradigms are cognitively and ecologically incommensurate. Today, in the forests of Asia the two paradigms are struggling against each other. This struggle is very clear in the two slogans on the utility of the Himalayan forests, one emanating from the ecological concepts of Garhwali women, the other from the sectoral concepts of those associated with trade in forest products. When Chipko became an ecological movement in 1977 in Adwani, the spirit of local science was captured in the slogan:

What do the forests bear?

Soil, water and pure air.

This was the response to the commonly accepted slogan of the dominant science:

What do the forests bear?

Profit on resin and timber.

The insight in these slogans represented a cognitive shift in the evolution of Chipko. The movement was transformed qualitatively from being based merely on conflicts over resources to involving conflicts over scientific perceptions and philosophical approaches to nature."

Questo scritto del 1993 sottolinea efficacemente il problema che la pianificazione forestale è chiamata a risolvere, cioè il dilemma fra utilità derivanti dalla conservazione del bosco e utilità derivanti dalla raccolta del legname come bene economico, ma anche come risorsa rinnovabile.

Più in generale, le utilità sociali e produttive del bosco sono riassunte nella tabella 7.

<i>Categoria</i>	<i>Esempi</i>
Beni	Legno, altri prodotti forestali: frutti, sughero, tannino, foraggio, ecc.
Servizi	Protezione del suolo, difesa idrogeologica, protezione dalle valanghe, purificazione dell'aria, purificazione dell'acqua, produzione di ossigeno, fissazione di carbonio, ecc.
Informazione	Patrimoni genetici di specie conosciute e ancora da scoprire per possibili usi farmaceutici, industriali, ecc. Organizzazione e struttura degli ecosistemi forestali.
Psico-spirituale	Fonte di godimento estetico, di benessere fisico e spirituale, di contemplazione religiosa, ecc.

Tabella 7: Utilità del bosco (da Callicot, 1997, modificato)

La recente problematica del cambiamenti climatico ha però complicato il problema. Già nel 2006 la FAO ha riconosciuto che una buona gestione forestale è fondamentale per far fronte al cambiamento climatico. Il cambiamento climatico e le foreste sono infatti strettamente connessi. A causa dell'aumento delle temperature medie annuali, dell'alterazione delle precipitazioni e di eventi meteorologici più estremi e frequenti, il cambiamento climatico del pianeta sta già avendo un impatto sulle foreste. Tuttavia, le foreste ed il legno prodotto trattengono ed assorbono il biossido di carbonio, ricoprendo un ruolo determinante nel mitigare i mutamenti del clima. Il rovescio della medaglia è che quando invece vengono distrutte, o eccessivamente sfruttate o incendiate, le foreste diventano fonte di gas serra, appunto il biossido di carbonio.

Secondo Wulf Killmann, che presiede il gruppo di lavoro interdipartimentale della FAO sui cambiamenti climatici: "Dobbiamo certamente fermare la deforestazione ed estendere l'area ricoperta dalle foreste [...] Ma per ridurre le emissioni di carbonio dobbiamo rimpiazzare i combustibili fossili e sostituirli con i biocombustibili – ad esempio i combustibili legnosi provenienti da foreste gestite in modo responsabile - ed impiegare maggiormente il legno per i prodotti di lunga durata, in modo che il carbonio immagazzinato resti più a lungo fuori dell'atmosfera".

4.3

Conoscere per decidere: i valori del bosco.

Confrontando i due punti di vista, sia la conservazione sia l'utilizzazione del bosco sono azioni indispensabili per una pianificazione sostenibile del patrimonio forestale di un territorio. Ma dove sta il compromesso?

Secondo Turner²¹: *“Un esempio utile a chiarire tali concetti è costituito dalle scelte che una comunità locale può operare riguardo a un bosco. A seconda del significato e quindi del valore che viene attribuito, si può decidere di ricavare dal taglio degli alberi legna da vendere o da utilizzare diversamente. Ma il valore d'uso di un bosco può riferirsi anche alla sua percorribilità interna, dunque si può optare per il pagamento di un biglietto di accesso che consenta la fruizione del paesaggio boschivo. A questo stesso bosco possono essere anche ascritti valori di non uso, per la necessità, riconosciuta e condivisa all'interno della comunità, di tutelarne l'ecosistema. Tali valori derivano dalla rinuncia a un uso o al suo differimento nel tempo, al fine di ampliare le possibilità di fruizione del bene da parte delle popolazioni future. Sta di fatto che i valori che una comunità assegna alle proprie risorse orientano specifiche traiettorie di sviluppo relative all'uso, alla conservazione o all'innovazione del patrimonio locale, così come alla sua dissipazione.”.*

Anche Massimo Bianchi nell'introduzione a *“Il bosco e i suoi valori. Studi interdisciplinari in pianificazione forestale multifunzionale”* sottolinea che *“Per quanto riguarda ... i boschi, l'imperativo della sostenibilità va riferito alla conservazione dell'intera gamma dei benefici e dei servizi materiali e immateriali forniti dalla foresta; con un termine più generale, possiamo sintetizzare che l'obiettivo dello sviluppo sostenibile deve essere, nel caso del bosco, quello che garantisce la perpetuità di tutti i suoi “valori”.”.*

²¹ Turner K. R., Pearce D. and Bateman J. (1994) *Environmental economics: an elementary introduction*, Harvester Wheatsheaf, New York.

Da ciò scaturisce la necessità di ricostruire l'utilità sociale derivante dall'uso distruttivo o conservativo dei soprassuoli forestali tramite opportune metodologie di valutazione. In letteratura fino dagli anni '70 si sono studiati numerosi approcci analitici; i metodi proposti ricadono in due grandi gruppi: valutazioni monetarie e valutazioni tramite indici e regole.

A partire dagli anni '60, viene presa in considerazione la problematica di una corretta valutazione dei beni ambientali, attraverso l'analisi e la valutazione non solo degli aspetti strumentali o comunque tangibili della risorsa, ma anche di quelli intrinseci e immateriali. Come descritto nel precedente paragrafo, prende campo un valore prima non considerato, il valore sociale, grazie al quale una valutazione di una risorsa non si basa solo su preferenze individualistiche tendenti alla massimizzazione del benessere personale, ma viene inserita in un contesto che prende in considerazione la comunità sociale, interprete dei diritti delle generazioni future e delle specie non umane. Prende vita il concetto di sviluppo sostenibile, includendo così il dovere di perpetuare le buone condizioni e il corretto funzionamento dell'intero sistema ambientale.

Da un punto di vista economico estimativo il concetto di *bene ambientale* viene accostato a quello di *bene pubblico*, caratterizzati entrambi dall'assenza di mercato, dal non essere soggetti a diritti di proprietà. Per tali beni non è possibile determinare il valore di mercato, in quanto è indispensabile prendere in considerazione tutta una serie di aspetti materiali ed immateriali, che vanno al di là del valore dei beni prodotti dal sistema ambiente, ma che considerino l'opportunità di godimento di tali risorse da parte delle generazioni future e tutelino l'esistenza e la salvaguardia delle specie diverse dall'uomo. Viene introdotto il concetto di Valore Economico Totale (VET) grazie al quale è possibile affrontare i problemi legati al fatto che i criteri del costo (per poter utilizzare il valore di costo è indispensabile che il bene sia in qualche modo riproducibile) e del prezzo di mercato (come prima accennato, mancando il diritto di proprietà ed essendo non trasferibili, per tali beni non esiste un mercato a cui

riferirsi) non possono essere utilizzati per la stima di questi tipi di beni. Diversi in letteratura gli schemi atti a descrivere il VET dei beni ambientali: Silvestri 2005²² (figura 5) propongono uno schema basato sulla distinzione principale fra valore di uso (strumentale) e di non uso (intrinseco), a sua volta divisi in valori diretti, indiretti e di opzione (valore di uso) e valore di eredità e di esistenza (valore di non uso).

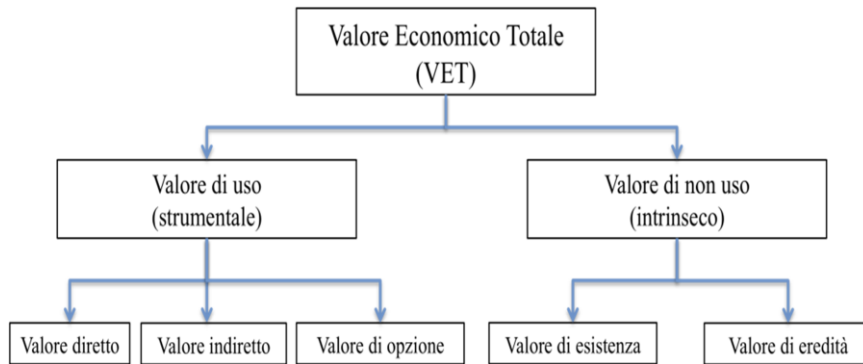


Figura 5: Schema del Valore Economico totale

Formalmente la formula del VET può essere scritta nel modo seguente.

$$VET = V_{ud} + V_{uin} + V_o + V_{es} + V_{er}$$

dove

V_{ud} = valore di uso diretto, ovvero il valore attribuito al bene in base ad un suo effettivo uso da parte del fruitore (raccolta funghi, caccia, raccolta acqua potabile di sorgente, ecc.);

V_{uin} = valore di uso indiretto, ovvero il valore attribuito al bene in base ai vantaggi scaturiti dalla presenza del bene stesso ma non direttamente fruiti

dagli individui (regimazione idrica dei soprassuoli forestali come prevenzione da possibili dissesti idrogeologici, sequestro del carbonio al fine di limitare i danni dovuti ai cambiamenti climatici, ecc.);

V_o = valore di opzione, ovvero il beneficio atteso per un possibile uso futuro del bene da parte di un singolo individuo, da parte di qualsiasi altro individuo decida di usarlo, da parte delle future generazioni;

V_{es} = valore di esistenza, ovvero il valore, simile al precedente, ma che si differenzia per l'assenza di previsione di uso o di potenzialità di uso. Il beneficio deriva in questo caso dalla sola consapevolezza che il bene esista, a prescindere se verrà mai utilizzato sia direttamente che indirettamente (il classico esempio è rappresentato dall'importanza dell'esistenza dei ghiacciai o della foresta amazzonica fondamentale per il ruolo che svolgono per l'intera umanità per quanto concerne la biodiversità di flora e fauna);

V_{er} = valore di eredità (altresì detto valore di lascito), ovvero la disponibilità a pagare affinché le future generazioni siano in grado di usufruire del bene, non implicando da parte di queste un uso diretto e indiretto.

Sia i valori di uso che quelli di non uso possono essere valutati attraverso metodologie che giungono a risultati *monetari* e *non monetari*.

4.3.1. Il Valore monetario dell'utilità sociale del bosco.

Valutare un bene significa misurare la sua capacità di generare utilità, cioè di soddisfare i bisogni dei soggetti che ne fanno uso. Il sistema economico, basato sullo scambio e sulla moneta, esprime il valore di tutti i beni in termini di prezzo, vale a dire di quantità di denaro con il quale il bene può essere scambiato.

²² Silvestri F., 2005 - Lezioni di economia dell'ambiente ed ecologica - Clueb, Bologna.

La valutazione dei beni ambientali pone tuttavia dei problemi diversi rispetto agli altri beni economici, a causa della mancanza di un diretto riferimento al mercato.

Dal punto di vista di un operatore pubblico, che persegue quindi il fine di massimizzare il benessere sociale, la valutazione economica dei beni senza prezzo e in particolare delle esternalità da essi prodotte è di fondamentale importanza, soprattutto nel caso in cui la valutazione sia finalizzata a indirizzare le scelte o a verificare la corretta allocazione delle risorse monetarie rispetto ai vantaggi ottenuti effettuando interventi sul territorio.

Le principali difficoltà legate alla valutazione economica dei beni ambientali derivano dalla natura prevalentemente pubblica delle utilità che essi forniscono.

Da un punto di vista operativo dovendo stimare il Valore Economico Totale delle risorse forestali è necessario definire le funzioni che un'area boscata assolve. Dalle definizioni di bosco in precedenza citate e da un esame della letteratura è possibile identificare diversi benefici del bosco sia dal punto di vista economico che dal punto di vista sociale e ambientale. Zhongwei et al., 2001²³, identificano un set di funzioni basate sulla regimazione idrica, sulla conservazione del suolo, sulla regolazione dei gas serra e sulla produzione di legname o altri prodotti forestali. Pearce 2001, Pettenella e Secco, 2006²⁴ identificano i vari benefici del bosco nella produzione di legname e altri prodotti legnosi, prodotti forestali non legnosi, educazione, nel turismo e attività ricreative, nella protezione idrogeologica, regimazione

e filtrazione delle acque, nel miglioramento fertilità del suolo, difesa dall'erosione, difesa dagli incendi, nella fissazione del carbonio e nella conservazione della biodiversità.

Adattando il modello di Cavatassi, 2004²⁵ allo schema proposto nella figura 5 è possibile stimare il valore economico totale attraverso la definizione dei seguenti valori.

Valore di uso diretto della risorsa bosco: legname, paleria, prodotti forestali non legnosi come funghi, tartufi, ecc..., turismo e ricreazione intesi come prodotti e servizi forestali che forniscono un beneficio privato;

valore di uso indiretto: protezione idrogeologica, regimazione e filtrazione delle acque, miglioramento fertilità del suolo, difesa dall'erosione, prevenzione incendi, fissazione del carbonio e conservazione biodiversità intesi come benefici che potranno derivare dalle funzioni ambientali della foresta;

valore di opzione: protezione della biodiversità, conservazione dell'habitat, considerati come possibili benefici che deriveranno in futuro dalla foresta;

valore di esistenza: protezione della biodiversità e dell'habitat intesi come possibili benefici che deriveranno dalla foresta per le generazioni future;

valore di eredità: protezione della biodiversità, dell'habitat e delle specie in pericolo di estinzione, ovvero benefici che derivano dalla consapevolezza che la foresta esista.

²³ Zhongwei G., Xiangming X., Yaling G., Yuejun Z., 2001 - Ecosystem functions, services and their values – a case study in Xingshan County of China - Elsevier Ecological Economics 38 (2001) 141–154.

²⁴ Pearce D., 2001 - The economic value of forest ecosystems - Ecosystem health, vol. 7, n.4, pp 284-296 Pettenella D. e Secco L. (2006). Metodologie di valutazione economica e di reporting pubblico dei benefici offerti da una corretta gestione delle foreste mediterranee per la tutela delle risorse idriche. REGIONE DELL'UMBRIA Progetto INTERREG IIB MEDOCC – RECOFORME Structuration de Réseaux Et d'actions de COopération sur la FORêt Méditerranéenne».

Un recente studio coordinato da Marinelli e Marone²⁶ ha stimato il VET georeferenziato dei boschi della regione Toscana per ogni singolo elemento di valore del bosco nel modo seguente:

²⁵ Cavatassi R., 2004 - Valuation methods for environmental benefits in forestry and watersheds investment projects - ESA Working Paper n. 04-01. Agricultural and Development. Economics Division – Investment Center Division. FAO.

valore dell'attività turistico ricreativa: è stato stimato attraverso le procedure di spazializzazione che hanno consentito di attribuire ad ogni singolo pixel il valore ricreativo sulla base del modello del TCM e di stimare il valore complessivo come sommatoria dei valori dei singoli pixel;

valore dell'impatto sul sistema economico dell'attività turistica nei parchi: è stato determinato attraverso l'individuazione del numero di visite annuali moltiplicate per il coefficiente di attivazione per ogni euro di spesa in attività ricreativa nelle aree protette, determinato dai dati presenti in letteratura utilizzando la matrice I/O della Toscana a produzione totale per la stima degli effetti diretti, indiretti e indotti; successivamente il valore complessivo è stato spazializzato utilizzando la variabile del numero di visite utilizzate anche per la precedente componente del VET (attività turistico-ricreativa nei parchi);

valore dell'attività venatoria: è stato stimato sulla base del numero dei cacciatori e della loro disponibilità a pagare per svolgere l'attività come indicati in letteratura;

valore della raccolta dei funghi: è stato stimato sulla base del numero dei cercatori di funghi e del numero di giornate di attività e del costo giornaliero dell'autorizzazione alla raccolta, definito dalla vigente normativa regionale;

valore naturalistico: è stato stimato sulla base delle disponibilità a pagare delle famiglie (euro/famiglia/anno) maggiormente ricorrenti in letteratura e relative alle seguenti tipologie di funzione naturalistica: biodiversità, funzione ecologia e specie a rischio estinzione;

valore della regimazione dei deflussi: è stato stimato sulla base del costo di surrogazione in assenza del bosco, ed in particolare si è basato sulla stima

del costo di realizzazione delle opere idrauliche necessarie a sostituire la regimazione delle portate di massima piena in assenza del bosco; i valori sono stati stimati per ogni singolo pixel e la loro sommatoria ha permesso di individuare il valore complessivo di questa componente del VET;

valore di produzione di acqua potabile: è stato determinato sull'ipotesi che la miglior alternativa all'acqua di falda siano le riserve idriche immagazzinate nei bacini artificiali e sul conseguente contributo dei suoli forestali alla produzione di acqua idropotabile effettuata sulla base del bilancio idrico; i valori di immagazzinamento di acqua nei bacini idrografici in toscana sono stati individuati sulla base dei dati noti in letteratura; anche in questo caso i valori sono stati stimati per ogni singolo pixel e la loro sommatoria ha permesso di individuare il valore complessivo di questa componente del VET;

valore della produzione legnosa: è stato calcolato annualizzando il valor capitale del soprassuolo forestale stimato con procedure automatiche applicabili in termini speditivi sull'intera superficie regionale; anche in questo caso i valori sono stati stimati per ogni singolo pixel e la loro sommatoria ha permesso di individuare il valore complessivo di questa componente del VET;

valore di protezione dai cambiamenti climatici: è avvenuto stimando l'attività di fissazione del carbonio immagazzinato negli alberi calcolata per ogni singolo pixel; la sommatoria di questi valori ha permesso di individuare il valore complessivo di questa componente del VET.

Le figure 6, 7e 8 riportano alcuni risultati dello studio realizzato su una base cartografica raster con risoluzione di 75 metri e valori espressi in euro per ettaro e per anno.

²⁶ Marinelli, Augusto, and Enrico Marone, eds. *Il valore economico totale dei boschi della Toscana*. FrancoAngeli, 2014.

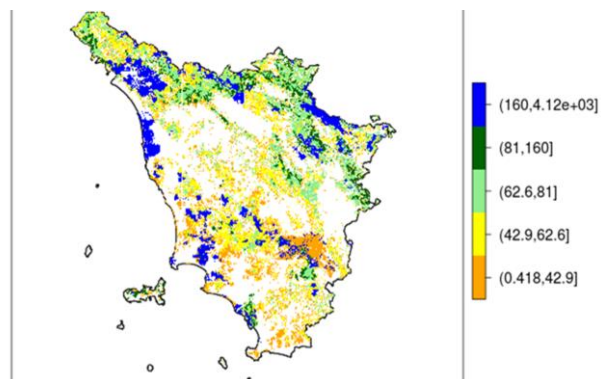


Figura 6: Valore turistico ricreativo dei boschi Toscani (Marinelli e Marone, 2014)

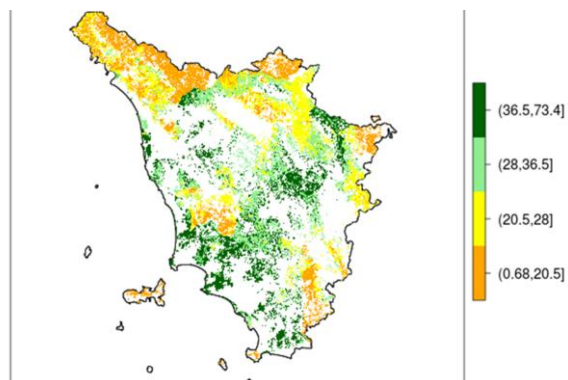


Figura 7: Valore di regimazione dei deflussi (Marinelli e Marone, 2014)

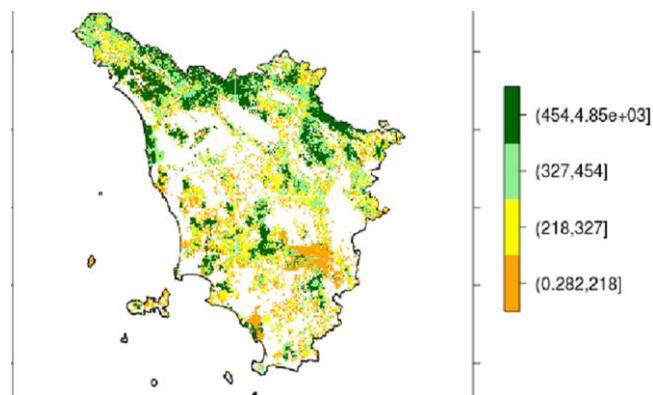


Figura 8: Valore economico totale dei boschi in Toscana (da Marinelli e Marone,

4.3.2. Metodi a punteggio.

Il carattere comune di tutti i metodi non monetari è costituito dall'impiego di indicatori specifici nella valutazione degli effetti fisici, ecologici, gestionali ed economici di un dato indirizzo di gestione forestale. Può essere perciò utile ripercorrere un schema metodologico attraverso cui si perviene alla costruzione di un indice. A questo scopo ben si presta lo schema proposto da Lazarsfeld, articolato nelle seguenti quattro fasi:

- i)* individuazione sintetico-intuitiva dell'insieme o del concetto da sottoporre ad analisi;
- ii)* specificazione dell'insieme attraverso l'individuazione dei suoi aspetti o dimensioni;
- iii)* scelta degli indicatori significativi rispetto alle dimensioni individuate e loro valutazione empirica;
- iv)* costruzione di indici sintetici che rappresentino l'aggregazione degli indicatori significativi in relazione alle dimensioni scelte come costitutive dell'insieme.

Lo schema qui presentato, pur avendo validità generale, conduce ad algoritmi di valutazione differenti a seconda della struttura dell'insieme da analizzare. Infatti il concetto a cui tale insieme si riferisce può avere significato **univoco** come p.e. "reddito ritraibile" o "unità lavorative impiegate", oppure **equivoco** come p.e. "valore naturalistico del territorio", "valore del territorio come *habitat* per specie animali" o "valore ricreativo del territorio". Tale differenza è determinante per le successive fasi di specificazione dell'indice.

Funzione	Indice (u.m.)	Metodo
Produzione legnosa	Tecnico (Volume)	Rilievi dendrometrici diretti Tavole stereometriche Tavole alsometriche Modelli di crescita
Efficienza finanziaria	Tecnico (Valore)	Valore di trasformazione (prezzo di macchiatico per ettaro) Valore di costo (costi di lavorazione per ettaro)
Occupazione	Tecnico (u.l.)	Occupazione diretta: modelli di rendimento Occupazione indotta: tavole intersettoriali
Paesaggio, turismo e ricreazione	Tecnic ^o (n.visit.) o Logico	Indice tecnico: conteggio diretto dei visitatori. Indici logici: Sistemi a punteggio individuati con indagini statistiche o modelli logici matematici e paesaggistica dei boschi
Habitat per fauna selvatica	Tecnico (u.f.) o Logico	Indice tecnico: Unità foraggiere asportabili nella stagione più sfavorevole dell'anno. Indice logico: Sistemi a punteggio o modelli logici per la stima della potenzialità faunistica delle formazioni vegetali
Naturalità	Logico	Indici a punteggio
Incendi	Tecnico o Logico	Indici tecnici: Modelli fisici o statistici. Indici logici: Sistemi a punteggio o modelli logici per la valutazione del rischio e della suscettività agli incendi dei soprassuoli forestali
Protezione idrogeologica	Tecnico o Logico	Indici tecnici: Coefficienti di deflusso, modelli di erosione. Indici logici: Sistemi a punteggio

Tabella 8: Metodi di valutazione non monetari.

Infatti nel primo caso aspetti e dimensioni possono essere dedotti direttamente dalla definizione dell'insieme e la precisione dell'indice individuato dipende esclusivamente da problemi di carattere strumentale e di accuratezza dei dati disponibili. Nel secondo caso invece si è necessario ricorrere ad una operazione di **deduzione logica** degli aspetti significativi e ad una conseguente **modellizzazione logica** finalizzata alla formazione di indici sintetici.

Nel primo caso si hanno **indicatori tecnici**, le cui variabili possono essere correlate attraverso la definizione di una equazione o di un sistema di equazioni (modello fisico, statistico, econometrico, ecc.): la relazione fra indicatore ed insieme risulta perciò definita in termini deterministici o probabilistici. Nel secondo caso invece si hanno **indici logici** e la modellizzazione assume carattere logico-qualitativo, dove con tale locuzione si intende il collegamento di un insieme di fatti attraverso regole logiche empiriche, finalizzato all'emissione di giudizi. In tabella 8 sono riportati le principali funzioni dei soprassuoli forestali ed i metodi applicabili per valutare i relativi effetti sulle alternative di governo e trattamento del bosco.

4.3.3. Alcuni esempi di valutazioni con tecniche non monetarie.

Un semplice metodo a punteggio che può essere preso come esempio delle tecniche non monetarie di valutazione dei servizi sociali del bosco è quello proposto nell'ambito del piano per la gestione e valorizzazione del paesaggio del castagno del sito UNESCO "Arte rupestre della Valle Camonica" "Per fornire un quadro di riferimento il più possibile esaustivo delle prerogative che caratterizzano ciascun tipo di castagneto individuato, sono state approntate alcune schede descrittive utili per favorire l'adimensionalizzazione dell'osservazione effettuata in bosco da operatori diversi. Le schede sono compilate partendo da alcune situazioni "indice" riscontrate nei siti archeologici della Valle Camonica ed in contesti particolarmente significativi e/o esplicativi di situazioni standard di castagneto. Per completare la classificazione dei soprassuoli del castagno, è stato inoltre predisposto un meccanismo di calcolo del Valore Ambientale (VA), basato su una serie di osservazioni oggettive che, partendo dalla disarticolazione delle singole funzioni attribuite al bosco, definiscono il VA come somma del valore delle funzioni stesse. Tale valore, non deve essere mai inteso in senso assoluto, ma serve a rendere più chiara la lettura di tutti

gli aspetti che interessano il castagneto il quale, anche per valori ambientali bassi, può essere oggetto di particolari attenzioni per singole emergenze di pregio assoluto (endemismi botanici, presenza di incisioni rupestri, valore faunistico, ecc.).” Le schede sono riportate in tabella 9.

Un altro esempio interessante è quello utilizzato nell'ambito del progetto RiSelvitalia, dall'IPLA nella “Analisi della funzionalità protettiva dei boschi in relazione ai tipi forestali della Liguria” basato su un complesso abaco per individuare le regole di gestione forestale in funzione della propensione al dissesto idrogeologico. La figura 9 riporta un caso di tale abaco relativo ad un singolo tipo forestale e ad un livello di propensione al dissesto per erosione e di grado medio-alto.

Criterio di Valutazione	Peso	Indicatore	Descrizione livello	Valore
Funzione Storico-culturale	0,2	interesse storico o archeologico	ottima	3
			buona	2
			mediocre	1
			scarsa	0
		presenza di manufatti e altre testimonianze	ottima	3
			buona	2
			mediocre	1
			scarsa	0
		contesto storico-culturale	ottima	3
			buona	2
			mediocre	1
			scarsa	0

FUNZIONE STORICO-CULTURALE. Per evidenziare la presenza di manufatti e altri segni di presidio antropico gli indicatori che vengono presi in considerazione sono relativi alla presenza accertata di siti di particolare interesse storico o archeologico, oppure alla presenza di manufatti o altre testimonianze, quali antiche strade selciate, segni di confine, muri di confine o di terrazzamento, lunettamenti, ciglionamenti, antichi cascinali, fontane, portali, o qualsiasi altro elemento che conferisca ai luoghi un interesse storico-culturale. Al di là dell'effettiva presenza di tali testimonianze, la scheda di valutazione invita il compilatore ad esprimere un giudizio sul **contesto storico-culturale e socio-economico** in cui la stazione di rilevamento è inserita, sia nell'ambito di una possibile ricostruzione storica degli eventi che hanno portato allo sviluppo della castanicoltura proprio in quella zona, sia in considerazione della presenza di sensibilità locali e forme di valorizzazione di quel patrimonio, che si traducono nella realizzazione di spazi museali, nella predisposizione di eventi, feste e sagre paesane dedicate a quei luoghi o alle attività tradizionali che vi si svolgevano, nonché ogni altra condizione che permetta alle comunità locali di conferire importanza e valore al bosco in questione.

Criterio di Valutazione	Peso	Indicatore	Descrizione livello	Valore
Funzione Turistico-ricreativa	0,20	condizioni di accessibilità	ottime	3
			buone	2
			mediocri	1
			difficili	0
		frequentazione dei luoghi e presenza di attrattive complementari	ottima	3
			buona	2
			mediocre	1
			scarsa	0
		susceptibilità alla valorizzazione turistica	ottima	3
			buona	2
			mediocre	1
			scarsa	0

FUNZIONE TURISTICO-RECREATIVA. È intesa nella forma più classica di attitudine ad accogliere, ospitare e soddisfare le esigenze dei visitatori che nell'ambiente dei castagneti cercano castagne, funghi, relax, pic-nic, passeggiate, escursionismo, caccia fotografica, equitazione, mountain bike, ecc.. Uno dei primi indicatori preso in considerazione è strettamente legato alle condizioni di **accessibilità del sito**. Sappiamo infatti che tale elemento, da solo, contribuisce a condizionare fortemente le reali capacità ricettive e di attrazione turistica di una zona. Questo non significa che il pregio ambientale d'insieme non debba essere elevato, anzi questi due elementi della valutazione risultano spesso agire proprio uno a discapito dell'altro. Le reali condizioni di accessibilità risultano poi estremamente condizionanti anche per la valutazione della susceptibilità alla valorizzazione turistica di una zona, analogamente a quanto già anticipato a proposito della susceptibilità al miglioramento della funzione produttiva. Il valore di fruizione turistico-ricreativa si compone infine anche della presenza di eventuali ulteriori attrattive complementari che, qualora presenti, possono attirare il turista o l'escursionista in quel luogo più facilmente rispetto ad altri (presenza di corsi d'acqua nelle vicinanze, cascate, laghi, emergenze geomorfologiche, punti panoramici, aree di sosta ben attrezzate, punti di ristoro, ecc.).

Criterio di Valutazione	Peso	Indicatore	Descrizione livello	Valore
Funzione Produttiva	0,20	qualità e quantità della produzione castanicola	ottima	3
			buona	2
			mediocre	1
			scarsa	0
		produzione di legna e/o legname e altri prodotti secondari	ottima	3
			buona	2
			mediocre	1
			scarsa	0
		susceptibilità al miglioramento produttivo	ottima	3
			buona	2
			mediocre	1
			scarsa	0

FUNZIONE PRODUTTIVA. Come si evince chiaramente dalla tabella relativa alla stima della funzione produttiva, si ritiene doveroso considerare sia quella strettamente legata alla **produzione castanicola** quanto quella legata alla produzione di **biomassa legnosa**, non ultime le possibilità offerte dai **prodotti secondari**, che nel caso specifico in esame si possono limitare alla produzione di funghi, frutti del sottobosco e miele. Particolare rilevanza riveste il quarto indicatore, relativo alla **susceptibilità al miglioramento produttivo**: la valutazione di questo fattore richiede la raccolta di un insieme di informazioni che esulano dalle mere capacità produttive stagionali, ma fanno riferimento alle reali possibilità che eventuali interventi colturali (sia di carattere pubblico che privato) possano contribuire a migliorare l'assetto produttivo del castagneto. Si tratta di un indicatore che, per quanto possibile, deve tenere conto della **proprietà**, delle intenzioni dei conduttori, della presenza di sufficienti condizioni di accessibilità, nonché dell'esistenza di gruppi organizzati o associazioni attive di riferimento per l'eventuale conferimento, trasformazione e commercializzazione del prodotto.

Criterio di Valutazione	Peso	Indicatore	Descrizione livello	Valore
Funzione Paesaggistica	0,20	presenza di esemplari maestosi	ottima	3
			buona	2
			mediocre	1
			scarsa	0
		panoramicità dei luoghi	ottima	3
			buona	2
			mediocre	1
			scarsa	0
		presenza di elementi di disturbo	assenza	3
			scarsa	2
			presenza	1
			diffusa	0

FUNZIONE PAESAGGISTICA. Sono stati tenuti in considerazione 3 indicatori, di cui il primo è riferito alle caratteristiche proprie del soprassuolo, mentre gli altri due riferiti al contesto territoriale in cui il soprassuolo si inserisce. Rispetto al caso precedente, tuttavia, l'uso delle aggettivazioni a fianco di ciascun indicatore risulta più articolato. Così, ad esempio, per l'eventuale presenza di **sogetti maestosi** il fatto che ve ne sia anche solo uno di dimensioni o caratteristiche eccezionali giustifica l'assegnazione del punteggio massimo. Analogamente il punteggio 0 (zero) viene attribuito alle situazioni in cui siano totalmente assenti esemplari maestosi di castagno o di altre specie legnose. La **panoramicità dei luoghi** costituisce un fattore certamente importante, che da solo è in grado di condizionare il pregio paesaggistico di una zona, sia che si consideri vista dall'interno che in relazione a scorci visuali suggestivi o di effetto panoramico percepibili soltanto a distanza. L'ultimo indicatore si riferisce invece all'eventuale presenza di elementi di varia natura, quasi sempre di origine antropica, che possano comportare un reale "disturbo" nella **percezione estetica del paesaggio**. Può trattarsi tanto di elementi infrastrutturali di forte impatto estetico visuale (traffici, elettrodoti, strade, edifici, aree degradate), quanto di condizioni o situazioni cui una zona è soggetta (presenza di rumori, odori, inaccessibilità dovuta alla presenza di recinzioni, zone interessate da frequentazione intensiva o di disturbo, ecc.). Chiaramente la presenza diffusa di tali condizioni tende ad abbassare il valore paesaggistico, e di conseguenza il valore ambientale, del castagneto.

Criterio di Valutazione	Peso	Indicatore	Descrizione livello	Valore
Funzione Naturalistica	0,20	rilevanza floristica	ottima	3
			buona	2
			mediocre	1
			scarsa	0
		vocalionalità faunistica	ottima	3
			buona	2
			mediocre	1
			scarsa	0
		regime di tutela	ZPS, SIC	3
			Parco Reg.	2
			altro	1
			non presente	0

FUNZIONE NATURALISTICA. Un altro aspetto di particolare rilevanza ambientale che viene preso in esame nel processo di valutazione delle peculiarità ambientali del soprassuolo è quello attinente al **pregio naturalistico**. È chiaro che per la valutazione di tale aspetto risulta necessario riferirsi ad un intorno sufficientemente ampio rispetto alla stazione di riferimento, affinché sia considerato anche il contesto ambientale entro cui la zona si trova. Il pregio naturalistico di una determinata zona, al di là di riferimenti puntuali per la presenza di peculiarità floristiche o botaniche, tiene conto delle condizioni di vocalionalità faunistica in cui la zona viene a trovarsi, con specifico riferimento anche alla presenza di **alberi con cavità**, nonché ad altre condizioni ritenute generalmente ospitali per la fauna selvatica. L'esistenza di un particolare regime di tutela ambientale viene poi considerato e valutato a parte, quale ulteriore elemento che contribuisce a definire al meglio il pregio naturalistico della zona, che nella determinazione del valore ambientale complessivo del castagneto rappresenta il 20% in relazione all'espressione del giudizio finale.

Tabella 9: Metodi a punteggio di valutazione dei boschi (Ducoletti A., Gregorini G. Calvi G. Elementi di indirizzo per la gestione e valorizzazione del paesaggio del castagno del sito UNESCO "Arte rupestre della Valle Camonica").

Tipi forestali Liguria in relazione alla funzionalità protettiva
Categoria Castagneti – tipo forestale Castagneto Termofilo (CA20X) e Neutrofilo (CA40X)

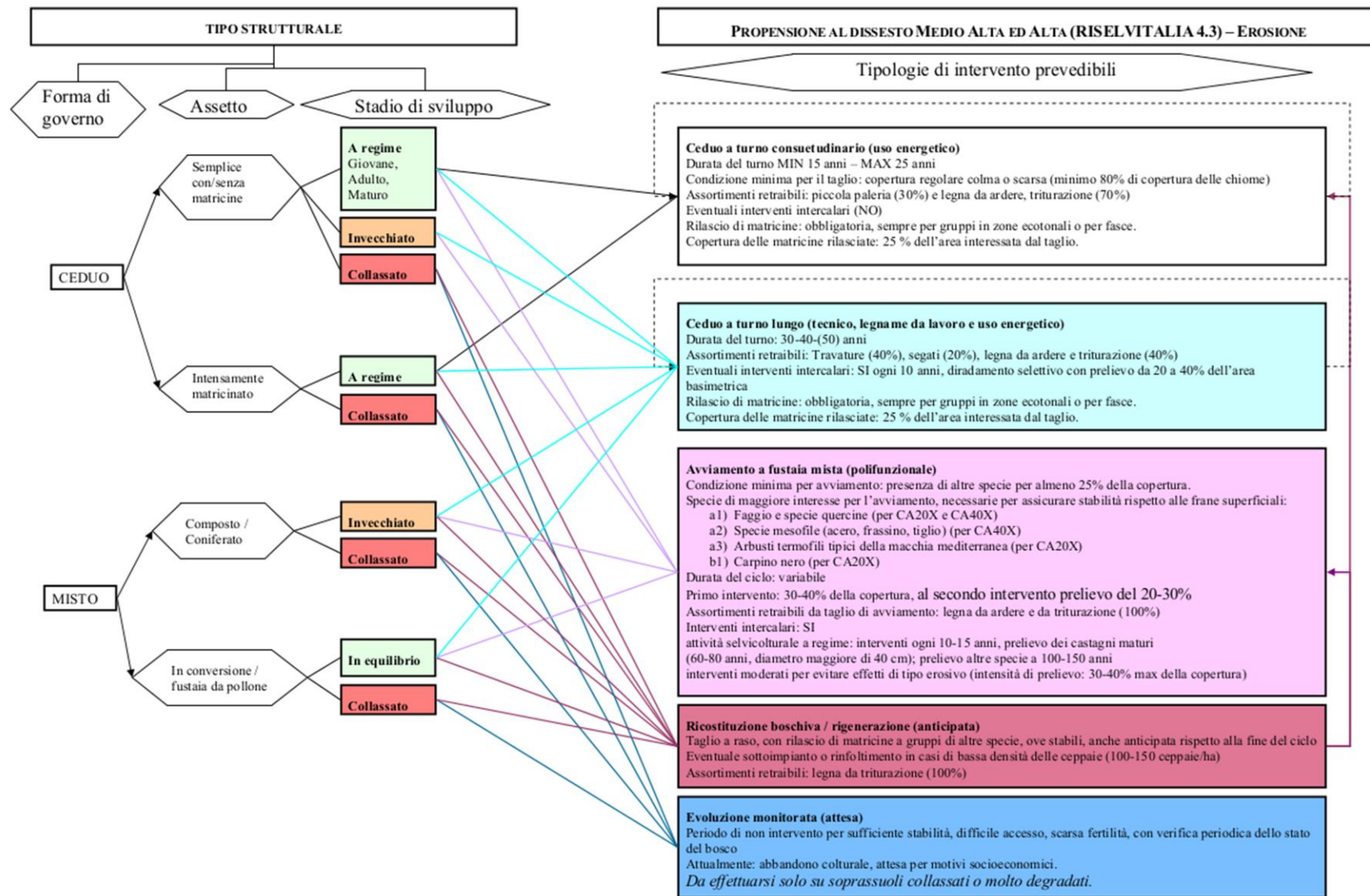


Figura 9: Regole di gestione per boschi con propensione al dissesto medio-alta (Fabio Giannetti, Piergiorgio Terzuolo, Paolo Camerano, Alessandro Canavesio. Analisi della funzionalità protettiva dei boschi in relazione ai tipi forestali della Liguria, IPLA).

4.4

La sostenibilità della produzione forestale.

I boschi forniscono molti beni e servizi per la nostra società: provvedono legname per la fabbricazione di arredamenti e di costruzioni, consentono la realizzazione di esperienze turistiche e ricreative a contatto con la natura, regimano le acque, sono habitat per la fauna selvatica, ecc.. In molti boschi anche di proprietà pubblica in Italia si abbattano alberi per venderli sul mercato. Questa attività comporta un conflitto dal punto di vista sociale. Infatti l'utilizzazione economica del legname consente sia di fornire posti di lavoro alla popolazione sia di fornire fondi agli enti locali per migliorare servizi sociali (scuole, strade, assistenza agli anziani e agli handicappati). D'altro canto l'utilizzazione economica del bosco comporta rischi per l'ambiente (erosione, distruzione di ecosistemi per la fauna selvatica, ecc.). Il compito della pianificazione è quello di tentare di dare una soluzione a questi conflitti. Per la gestione dei rapporti fra sistema insediativo umano e conservazione sono state sviluppate due discipline che si basano su modelli e strumenti metodologici piuttosto diversi: l'economia delle risorse naturali e l'economia dell'ambiente.

L'economia delle risorse naturali si occupa di come il mercato utilizza le risorse naturali in modo efficiente. In questa disciplina, le risorse naturali sono considerate in relazione ai beni di mercato che esse possono produrre, come p.e. legname, pesce, carne, minerali, gas naturale, ecc.. Risorse naturali sono perciò direttamente apprezzate dal mercato ed hanno un loro prezzo. L'economia delle risorse naturali spiega come utilizzare tali risorse senza che si giunga ad un loro esaurimento. Tale concetto è detto utilizzazione delle risorse naturali sostenibile con l'ambiente.

L'economia dell'ambiente, a differenza dell'economia delle risorse naturali, si occupa della qualità delle risorse ambientali piuttosto che della quantità

di beni che esse possono produrre. L'economia dell'ambiente si occupa così di valutare gli effetti nel cambiamento della qualità dell'ambiente.

Le foreste ricadono sia nel campo dell'economia delle risorse che dell'economia dell'ambiente. Infatti una foresta utilizzata in modo economicamente efficiente e sostenibile con l'ambiente, può avere una qualità ambientale inferiore rispetto a quella che avrebbe se fosse sottoposta solo ad interventi di conservazione e di naturalizzazione.

Le risorse naturali si distinguono in rinnovabili e non rinnovabili. Le risorse rinnovabili si differenziano da quelle non rinnovabili per il fatto che esse si rinnovano nel tempo. L'energia solare, l'acqua, le risorse agricole le popolazioni animali ed il legno sono perciò esempi di risorse rinnovabili. Le risorse rinnovabili possono perciò produrre un flusso di beni (energia, legname, cibo, ecc.) virtualmente costante ed illimitato nel tempo. Per alcune risorse, come l'energia solare o eolica, il flusso è indipendente dalla attività umana: il consumo di risorse da parte di questa generazione non può influenzare la disponibilità per le generazioni future. Per altre risorse, dette rinnovabili ed esauribili, però la continuità del flusso di produzione dipende strettamente dalla attività antropica; infatti l'erosione del suolo può progressivamente diminuire la produzione di risorse agricole e lo sfruttamento eccessivo può depauperare le risorse forestali o ittiche. L'analisi economica si applica principalmente a questo tipo di risorse.

Al contrario delle risorse non rinnovabili (per esempio le risorse minerarie), l'ammontare (stock) di risorsa rinnovabile può aumentare nel tempo; esiste però un limite oltre il quale tale stock non può crescere. L'ammontare di biomassa arborea presente in un ettaro di terreno dipende sia dalle caratteristiche edafiche della stazione, come fertilità del suolo e parametri climatici (regime pluviometrico e delle temperature) sia da una pluralità di altri fattori, quali gli eventi meteorici accidentali, gli attacchi parassitari, che possono limitare la crescita della biomassa.

Generalmente, le risorse rinnovabili di origine biologica (alberi, popolazioni animali, ecc.) aumentano la loro crescita nel tempo, fino ad arrivare ad un certo limite. Un tipico modello di crescita biologica è quello logistico rappresentato per un popolamento forestale in figura 10.

La figura dimostra come il volume degli alberi presenti su un ettaro di superficie aumenti funzione dell'età e della fertilità, fino a raggiungere un volume massimo a 42 anni per la classe di fertilità ottima (I) e buona (II) e a circa 50 anni per la classe media (III) e scadente (IV). Il punto in cui la curva di crescita culmina è detto in economia delle risorse capacità di carico. In generale, quando un popolamento (vegetale o animale) è in equilibrio con la capacità di carico non si ha una sostanziale crescita ogni anno, ma la crescita dovuta sia allo sviluppo delle piante esistenti sia alla nascita di nuovi esemplari (rinnovazione) è bilanciata dalla mortalità. E' da sottolineare come negli ecosistemi fortemente antropizzati spesso il popolamento non raggiunge un equilibrio alla capacità di carico, ma tenda ad evolversi verso ecosistemi diversi in modo più o meno graduale. Tale fenomeno è detto evoluzione ed è studiato in ecologia.

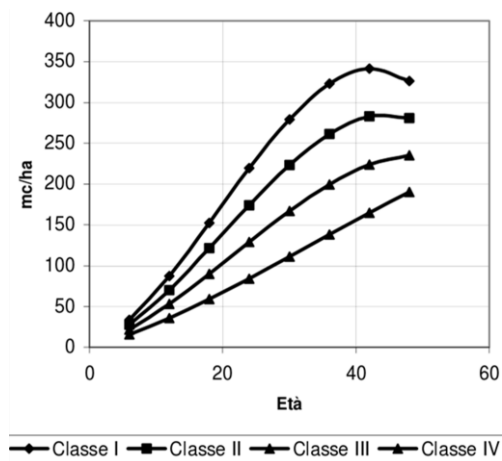


Figura 10: Curva di crescita del ceduo di castagno in Toscana in funzione dell'età e della fertilità.

Il modello fino ad ora studiato si riferisce alla crescita nel tempo di un bosco coetaneo, cioè un bosco, generalmente di origine artificiale, in cui le piante hanno tutte la stessa età. Questo tipo di bosco è quello maggiormente diffuso nei paesi industrializzati. La produzione del bosco coetaneo avviene abbattendo le piante che lo formano una volta che siano stati raggiunti gli obiettivi (economici o di altra natura) desiderati dal proprietario del bosco. L'età in cui avviene l'utilizzazione del popolamento forestale è detta turno. La produzione del bosco coetaneo è perciò una produzione periodica, che avviene ad intervalli dati dal turno.

Per poter ottenere ogni anno la quantità di legname necessaria alle necessità degli insediamenti umani è quindi necessario organizzare il bosco in porzioni di superficie simile e con età scalare progressivamente da un anno fino a t anni, con t età degli alberi al momento del taglio. Nei boschi soggetti a pianificazione forestale (circa il 20% in Italia, generalmente le proprietà pubbliche e le grandi proprietà private) questo viene realizzato tramite uno specifico piano di assestamento.

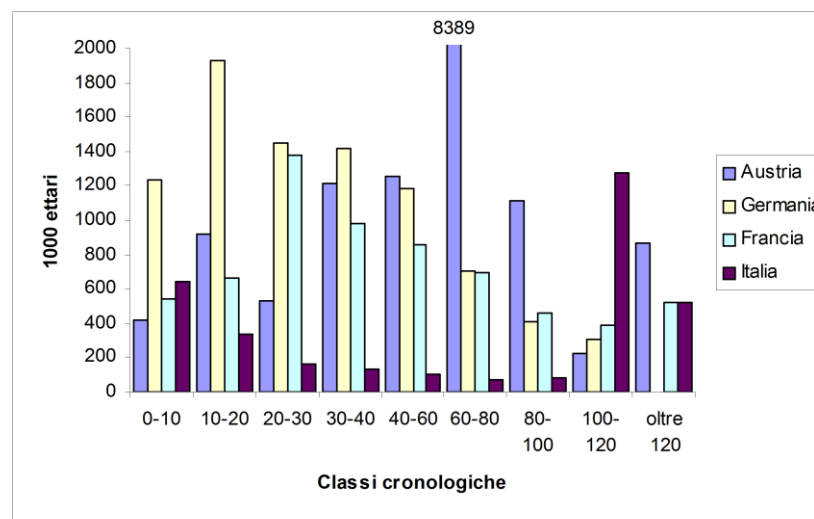


Figura 11: Distribuzione cronologica di boschi nei principali paesi forestali di Europa (fonte FAO)

E' però dimostrabile che, anche in mancanza di tale piano, per motivi di convenienza economica (legge della domanda e dell'offerta), i boschi tendono comunque automaticamente ad organizzarsi su una serie scalare di età, anche se in modo piuttosto irregolare, come dimostrano gli inventari forestali condotti sia in Italia che all'estero (figura 11).

E' però intuibile che lasciare la pianificazione del bosco alle forze del libero mercato può essere rischioso. Infatti in periodi di scarsa domanda di legno il bosco tende ad essere abbandonato, mentre se la domanda sale i tagli possono risultare non sostenibile a livello territoriale. Tali oscillazioni sono storicamente verificate, come mostrato in figura 12.

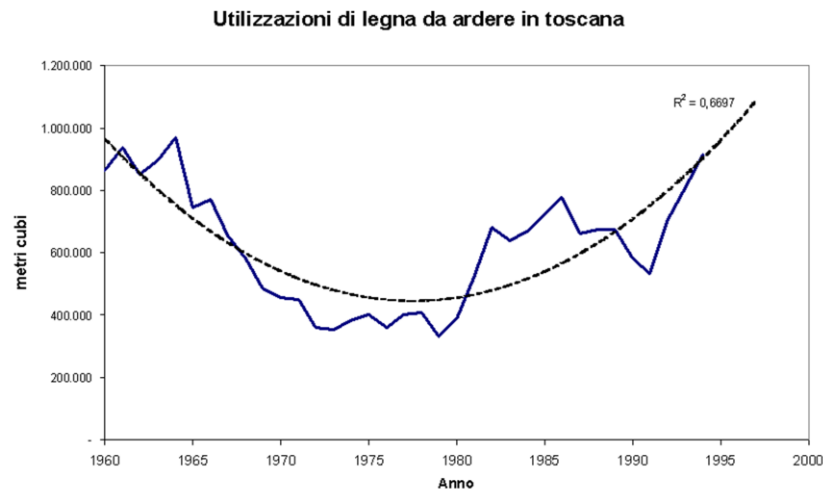


Figura 12: Andamento dei tagli nei cedui in Toscana 1960 - 2000.

Per tale motivo è necessario governare l'utilizzazione del bosco con una pianificazione forestale a livello territoriale. Per rendere sostenibile la produzione di un bosco a livello territoriale ogni anno i prelievi legnosi debbono essere inferiori (al massimo uguali) al tasso di crescita del bosco. Per assicurare tale condizione in un territorio boscato composto di

appezzamenti di età scalare da 1 a t anni (con t durata del turno) è necessario tagliare al massimo una superficie r tale che:

$$r = S/T$$

con S superficie forestale del territorio. In questo modo si darà il tempo sufficiente al bosco di rigenerare la biomassa arborea prima di tagliare nuovamente la stessa superficie. Per esempio, per un bosco ceduo di castagno di 1000 ettari in classe di fertilità media (III), con un turno di 20 anni la superficie sostenibile sarà:

$$r = S/t = 1000 \text{ ha} / 20 \text{ anni} = 50 \text{ ha/anno}$$

In termini di massa, se il bosco di castagno in III classe all'età di 20 anni ha una massa legnosa V= 100 mc/ha (vedi figura 10) si raccoglieranno:

$$m = r \cdot V = 100 \text{ mc/ha} \cdot 50 \text{ ha/anno} = 5000 \text{ mc/anno.}$$

Se invece scegliamo un turno di 50 anni abbiamo:

$$r = S/t = 1000 \text{ ha} / 50 \text{ anni} = 20 \text{ ha/anno}$$

di superficie in taglio. Il bosco di castagno in III classe all'età di 50 anni ha una massa legnosa V= 240 mc/ha (vedi figura 10) e la produzione si ridurrà a :

$$m = V \cdot r = 240 \text{ mc/ha} \cdot 20 \text{ ha/anno} = 4800 \text{ mc/anno.}$$

All'aumentare del turno accadono tre fenomeni significativi. La produttività del bosco in termini di biomassa, ma anche come valore del legname e occupazione nel lavoro in bosco tende a diminuire, ma diminuisce la superficie che viene tagliata, con conseguente maggiore regimazione dei deflussi idrici ed infine aumenta la dimensione delle piante del bosco e con essa il valore naturalistico e paesaggistico (figura 13).



Figura 13: Ceduo di castagno con turno breve e lungo; in alto il ceduo di castagno di circa 20 anni; sotto un ceduo di castagno di circa 50 anni.

Oltre al turno anche le possibili alternative di trattamento selvicolturale hanno effetti sulle diverse utilità sociali del bosco. La figura 14 rappresenta lo scambio (detto in economia delle risorse trade-off) tra produzione legnosa e valore turistico ricreativo sempre per un ceduo di castagno per quattro diverse forme di governo e trattamento.

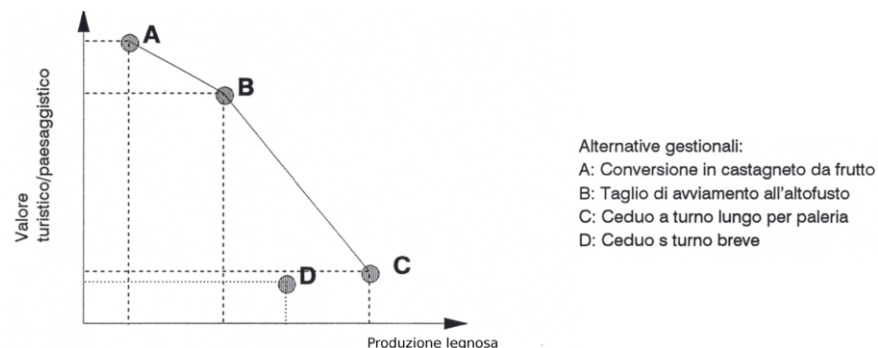


Figura 14: Trade-off paesaggio - produzione legnosa.

L'entità del trade-off tra diverse utilità sociali del bosco può essere influenzata da altre variabili, come, nell'esempio precedentemente citato, la distanza da sentieri o siti di interesse turistico (figura 15).

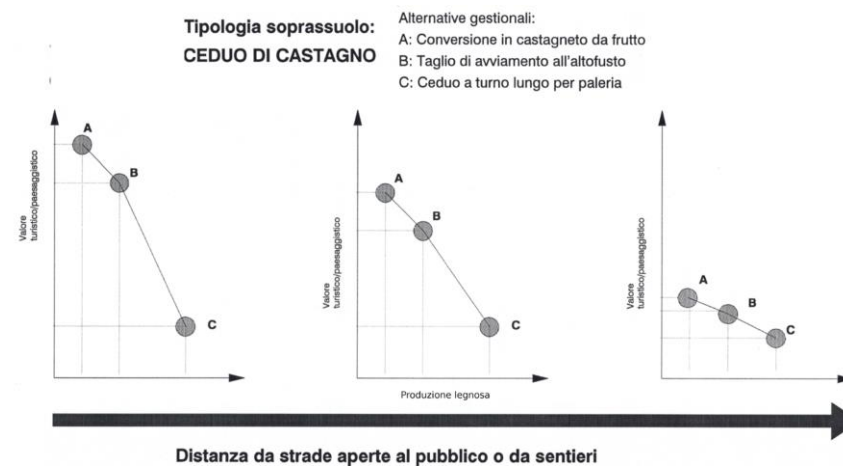
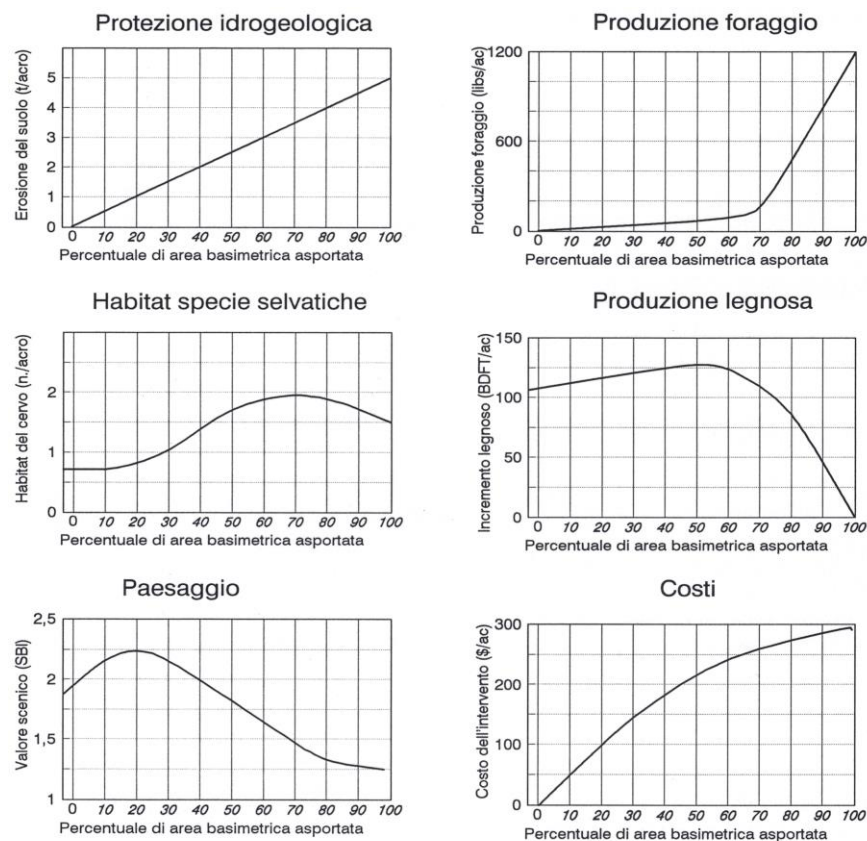


Figura 15: Effetto della distanza siti e sentieri sul trade-off produzione-paesaggio.

In generale, Teclé et al.²⁷ hanno calcolato un abaco piuttosto completo di trade-off fra produzione legnosa (in termini di percentuale di massa forestale tagliata) e altre utilità sociali, come riportato in figura 16.



Nota: Dati riferiti a soprassuoli di Pinus Ponderosa in Arizona

Figura 16: Effetti economici e ambientali delle diverse alternative di trattamento del bosco.

²⁷ Teclé A. Convington W.W. Wood D.B. Fox B.E. (1989). Conflict resolution in multiresource forest management of Ponderosa Pine; in: Multiresource Mngement of Ponderosa Pine Forests. USDA For. Serv. Gen Tech Rep. RM 15, Flagstaff, Arizona.

In generale, stimando per tutti i possibili turni e per tutte le possibili alternative di trattamento selvicolturale la produttività del bosco in funzione dello stock di biomassa si ottiene il cosiddetto modello di Schaefer. In figura 11 è riportata la curva di Schaefer per 1 ettaro di bosco ceduo di castagno di fertilità buona (II classe).

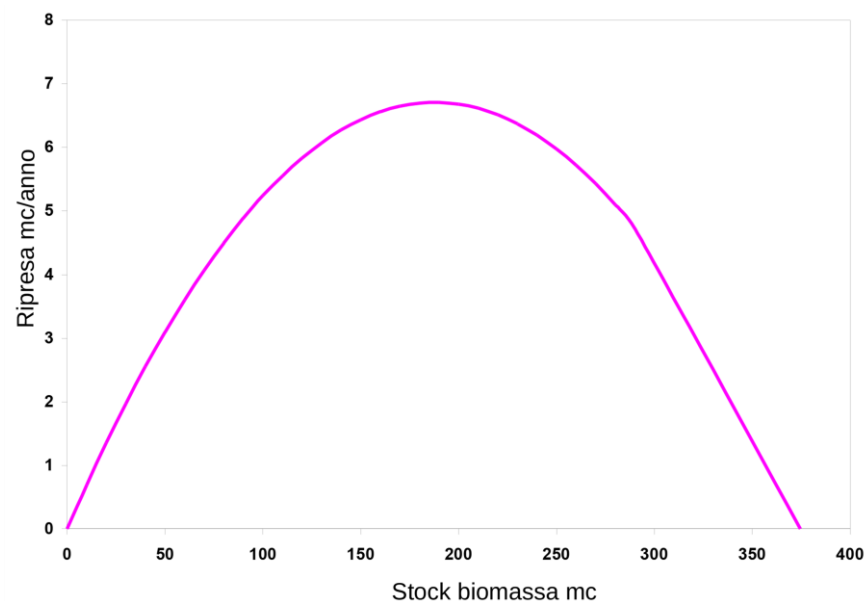


Figura 17: Curva di Schaefer per 1 ettaro di ceduo di castagno di fertilità buona in Toscana.

Le grandezze riportate sui due assi hanno un significato economico e sociale diverso. Infatti la produttività annua di legname costituisce la redditività del bosco e attiene quindi alla sfera privatistica della economia delle risorse forestali. Lo *stock di biomassa* invece coinvolge aspetti maggiormente legati al valore ambientale del bosco.

All'aumentare della biomassa per unità di superficie infatti aumentano (ovviamente entro certi limiti) le seguenti grandezze:

- capacità dell'ecosistema forestale di fissare stabilmente anidride carbonica (effetto serra)
- complessità e quindi stabilità ecologica
- valore del bosco per la ricreazione all'aperto
- funzione di habitat per la fauna selvatica
- capacità di regimazione idrogeologica

Oltre il punto di massimo della curva però all'aumentare della biomassa diminuisce la produttività. Il problema centrale delle politiche ambientali nella gestione delle risorse forestali è quindi proprio quello di regolare il rapporto fra prelievo annuo e biomassa legnosa. In generale è possibile affermare che boschi destinati esclusivamente alla produzione legnosa, come per esempio gli impianti di arboricoltura da legno, saranno coltivati in modo da avere elevati prelievi. Al contrario le foreste che si trovano all'interno di parchi o di riserve naturali avranno *stock* di biomassa elevati e prelievi bassi o addirittura limitati alla mortalità naturale.

Nelle figure 18 e 19 sono riportate rispettivamente le curve di Schaefer dei boschi a livello globale e dei cedui toscani (sempre riferite a 1 ha di bosco).

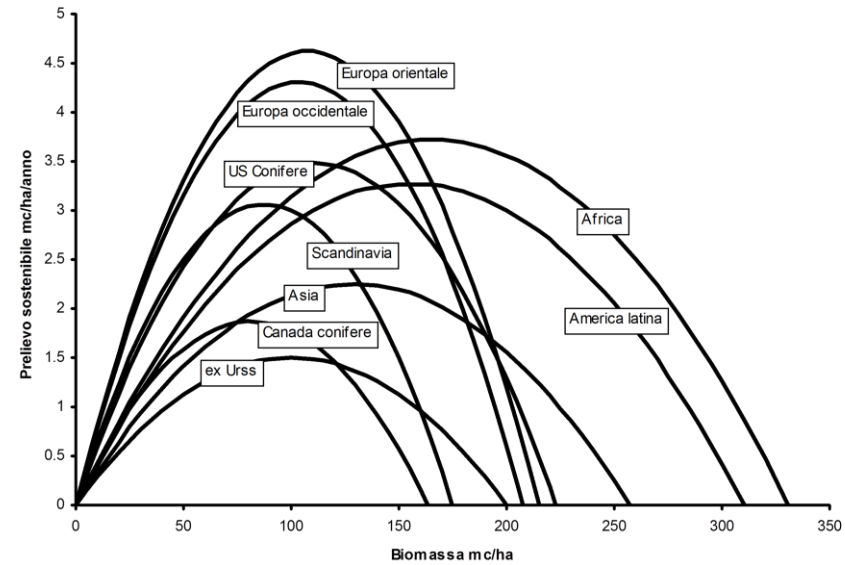


Figura 18: Modelli di Schaefer su scala mondiale.

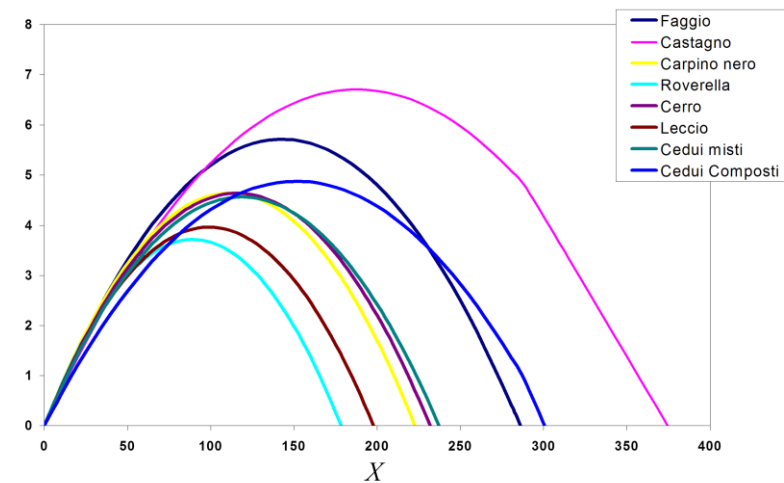


Figura 19: Curve di Schaefer (ad ettaro) per boschi cedui in Toscana.

Boxes metodologico-applicativi

Popolazione

Il reperimento dei dati è il primo passaggio da compiere per effettuare le analisi sui flussi e le relative ipotesi progettuali. A seconda del territorio in analisi, può esserci la disponibilità di dati comunali disaggregati (studi di settore, rapporti ambientali, rapporti dei gestori dei servizi, etc.). Tali dati non sono sempre e facilmente reperibili su scala comunale; nel caso in cui questi non siano disponibili è possibile riferirsi alle rilevazioni effettuate dall'ISTAT nell'ambito dei censimenti generali (popolazione, agricoltura, industria, etc). Per quanto riguarda la popolazione, l'ISTAT rileva la popolazione residente per comune ripartita in centri abitati, nuclei abitati e case sparse. L'ISTAT definisce il centro abitato come la località abitata costituita da un «aggregato di case contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili, o comunque brevi soluzioni di continuità per la cui determinazione si assume un valore variabile intorno ai 70 metri, caratterizzato dall'esistenza di servizi od esercizi pubblici (scuola, ufficio pubblico, farmacia, negozio o simili) costituenti la condizione di una forma autonoma di vita sociale, e generalmente determinanti un luogo di raccolta ove sono soliti concorrere anche gli abitanti dei luoghi vicini per ragioni di culto, istruzione, affari, approvvigionamento e simili, in modo da manifestare l'esistenza di una forma di vita sociale coordinata dal centro stesso». Il «nucleo abitato è una località abitata, priva del luogo di raccolta che caratterizza il centro abitato, costituita da un gruppo di case contigue e vicine, con almeno cinque famiglie, con interposte strade, sentieri, piazze, aie, piccoli orti, piccoli incolti e simili, purché l'intervallo tra casa e casa non superi trenta metri e sia in ogni modo inferiore a quello intercorrente tra il nucleo stesso e la più vicina delle case manifestamente sparse». Le «case sparse sono case disseminate nel territorio comunale a distanza tale tra loro da non poter costituire nemmeno un nucleo abitato».

I dati del 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni sono accessibili tramite il data warehouse all'indirizzo <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/>.

POPOLAZIONE	Tipo di territorio			
	centri abitati	nuclei abitati	case sparse	tutte le voci
COMUNI	popolazione residente (valori assoluti)			
Campiglia Marittima	10.790	598	1.832	13.220
Piombino	31.958	736	1.725	34.419
San Vincenzo	6.434	249	340	7.023
Sassetta	362	86	85	533
Suvereto	2.189	127	826	3.142
Monterotondo Marittimo	994	128	292	1.414
	52.727	1.924	5.100	59.751

Tabella 1: Totale popolazione residente della Val di Cornia, fonti ISTAT

Per alcune analisi più in dettaglio sull'insediamento è possibile utilizzare le sezioni censuarie dell'ISTAT, dove il territorio comunale è diviso in settori:

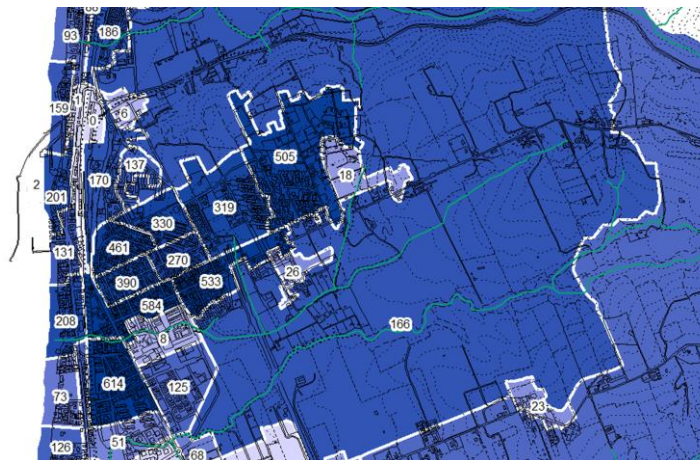


Figura 1: Sezioni censuarie ISTAT con label della popolazione residente

Le basi territoriali, in formato shapefile, e le tabelle con le variabili censuarie relative alle sezioni, sono disponibili dal sito <http://datiopen.istat.it/>. Attraverso un join tabellare con le sezioni (per la Regione Toscana, tabella R09_indicatori_2011_sezioni.csv) è possibile ottenere molte informazioni sullo stato della popolazione al momento del censimento. La Tabella 2 mostra alcune variabili sulla tipologia di informazioni che si possono ottenere:

P1	Popolazione residente - totale
P2	Popolazione residente - maschi
P3	Popolazione residente - femmine
P4	Popolazione residente - celibi/nubili
...	
P16	Popolazione residente - età 10 - 14 anni
P17	Popolazione residente - età 15 - 19 anni
P18	Popolazione residente - età 20 - 24 anni
...	
P48	Popolazione residente con diploma di scuola secondaria superiore
P49	Popolazione residente con media inferiore
P50	Popolazione residente con licenza elementare
...	
P130	Popolazione residente - totale di 15 anni e più casalinghi/e
P131	Popolazione residente - totale di 15 anni e più studenti
...	
P138	Popolazione residente che si sposta giornalmente fuori del comune di dimora
...	
A6	Alloggi vuoti
A7	Alloggi occupati solo da persone non residenti
PF1	Famiglie residenti - totale
...	

Tabella 2: Variabili censuarie sullo stato della popolazione, ISTAT

Per quanto riguarda invece la popolazione non residente stagionale (dovuta principalmente ai flussi turistici), le presenze in esercizi alberghieri sono rilevate periodicamente dalle regioni. I dati relativi alla Regione Toscana sono accessibili all'indirizzo <http://www.regione.toscana.it/statistiche/dati-statistici/turismo/>.

PROVINCIA	COMUNE	provenienze	arrivi	presenze
gr	Monterotondo Marittimo	Totale	1.801	12.881
gr	Monterotondo	Stranieri	913	8.141
gr	Monterotondo	Italiani	888	4.740
li	Campiglia Marittima	Totale	26.254	163.326
li	Campiglia Marittima	Stranieri	9.150	79.887
li	Campiglia Marittima	Italiani	17.104	83.439
li	Piombino	Totale	129.387	748.626
li	Piombino	Stranieri	19.147	139.228
li	Piombino	Italiani	110.240	609.398
li	San Vincenzo	Totale	152.050	1.208.888
li	San Vincenzo	Stranieri	77.244	699.164
li	San Vincenzo	Italiani	74.806	509.724
li	Sassetta	Totale	4.394	19.335
li	Sassetta	Stranieri	2.005	10.963
li	Sassetta	Italiani	2.389	8.372
li	Suvereto	Totale	4.623	27.137
li	Suvereto	Stranieri	2.638	20.008
li	Suvereto	Italiani	1.985	7.129
TOTALE PRESENZE (2009)				2.180.193

Tabella 4 : Arrivi e presenze negli esercizi ricettivi per comune e provenienza della clientela nei comuni della Val di Cornia. Flussi turistici Regione Toscana - Anno 2009

A tal proposito si ricorda che:

- Arrivi turistici: il numero di clienti, italiani e stranieri, ospitati negli esercizi ricettivi nel periodo considerato (anno solare).
- Presenze turistiche: Il numero delle notti trascorse dai clienti negli esercizi ricettivi. Il dato è utile per il calcolo dei fabbisogni annui.
- Permanenza media: rapporto tra presenze turistiche e arrivi turistici

La stima dei flussi di uscita

Per l'analisi dei flussi di uscita che gravano direttamente sulla qualità ambientale dell'ecosistema territoriale, ovvero i rifiuti ed i reflui urbani, è possibile, laddove non siano presenti dati diretti, stimare le quantità attraverso l'interpolazione di dati aggregati.

Per quanto riguarda i rifiuti (percentuali e tipologie di differenziate), è possibile calcolare la produzione pro-capite attraverso il dato aggregato per provincia del censimento ISTAT, come da Tabella 4. Per la regione Toscana, l'ARRR (Agenzia Recupero Risorse Rinnovabili) fornisce anche dati aggregati a livello comunale.

Tipo dato		raccolta dei rifiuti urbani (rispetto agli abitanti) - chili			
Misura		valori per unità del collettivo del denominatore			
Anno		2000	2010	2011	2012
Territorio					
<u>Italia</u>					
		566,36665	609,8431	590,51586	567,32158
Massa		752,99816	886,13861	808,7912	778,3342
Lucca		691,78282	808,77219	746,78754	722,71205
Pistoia		581,08247	634,14458	594,8824	580,08805
Firenze		675,51384	690,21377	661,99511	619,20735
Livorno		566,62879	600,77726	567,15788	562,2169
Pisa		758,58231	836,31524	824,97605	800,11326
Arezzo		515,15003	622,0366	602,74301	590,79742
Siena		621,56469	755,46922	713,04292	689,64981
Grosseto		660,2934	613,41378	632,46917	592,50827
Prato		693,54268	814,91523	753,55102	717,62397

Tabella 4: Produzione pro-capite di rifiuti urbani suddiviso per capoluoghi di provincia, ISTAT

È possibile stimare anche la produzione di rifiuti per tipologia di differenziata rapportando la popolazione considerata per le relative produzioni pro-capite, come da Tabella 5

Tipo dato		raccolta differenziata dei rifiuti urbani per i comuni (rispetto agli abitanti) - chili							
Anno		2012							
Tipologia di rifiuto differenziato		carta e cartone	vetro	materie plastiche	metalli	raccolta selettiva	rifiuto verde, organici e legno	altro	totale
Territorio									
<u>Italia</u>									
		62,36	24,67	13,58	4,06	0,42	71,34	21,53	197,96
Massa		48,47	16,93	8,32	4,18	0,61	105,85	14,13	198,49
Lucca		86,49	0,50	61,02	3,85	0,70	174,92	33,93	361,42
Pistoia		52,32	27,02	8,31	6,93	0,23	111,06	4,97	210,85
Firenze		92,39	26,52	10,84	2,67	0,42	95,48	18,79	247,12
Livorno		60,22	27,74	10,47	2,27	0,32	85,85	27,15	214,02
Pisa		74,07	34,13	12,88	2,79	0,79	156,12	28,46	309,24
Arezzo		82,20	23,90	4,70	4,37	0,62	75,63	12,21	203,63
Siena		92,14	47,55	1,11	3,23	0,73	120,58	17,94	283,28
Grosseto		58,68	15,30	7,97	1,95	0,26	81,94	29,48	195,57
Prato		120,55	22,99	23,55	3,14	0,25	98,30	21,61	290,39

Tabella 5: Produzione pro-capite di rifiuti differenziati per capoluoghi di provincia, ISTAT

L'eventuale stima dei reflui urbani è invece utile per stabilire il dimensionamento di eventuali impianti di trattamento secondario e terziario di fitodepurazione.

A tal proposito la letteratura fornisce tutti i coefficienti per il calcolo degli abitanti equivalenti (in base agli addetti nei diversi settori, alle tipologie degli edifici, etc, come stabilito dal D.Lgs. 152/06). Per semplicità possiamo calcolare i volumi prodotti dalla popolazione considerando che :

1 a.e. = 200 litri (0,2 mc) di refluo per abitante al giorno.

I fabbisogni energetici

Per il fabbisogno energetico, relativo al consumo di elettricità per l'uso domestico, quando non si hanno dati specifici a livello comunale si può procedere allo stesso modo considerando i dati aggregati a livello provinciale forniti da ISTAT:

Tipo dato		consumo di energia elettrica per uso domestico pro capite - kWh		
Tipo di uso dell'energia		uso domestico		
Anno		2000	2011	2012
Territorio				
<u>Italia</u>				
		1130,15538	1196,06267	1185,907
	Massa	1004,65442	1087,38052	1082,21475
	Firenze	1210,06464	1206,52625	1194,76949
	Livorno	1036,16856	1103,92968	1080,19218
	Pisa	1209,15068	1317,93988	1306,91425
	Arezzo	1035,04428	1082,77017	1079,20282
	Siena	1245,11	1246,76716	1249,19162
	Grosseto	1088,63941	1117,61106	1122,69541

Tipo dato		consumo di gas metano per uso domestico e riscaldamento pro capite - metri cubi		
Tipo di uso dell'energia		uso domestico e riscaldamento		
Anno		2000	2010	2011
Territorio				
<u>Italia</u>				
		390,799626	422,477252	391,199491
	Massa	411,75262	411,243712	378,079858
	Firenze	483,445005	717,86479	660,979747
	Livorno	322,370348	392,753912	381,464052
	Pisa	529,18181	767,299123	660,659685
	Arezzo	468,657853	477,09667	534,292487
	Siena	502,005358	525,357529	481,393517
	Grosseto	249,347735	296,232975	276,676586

Tabella 6 e 7: Consumi pro-capite di energia elettrica e di gas metano per uso domestico

La valutazione del giacimento territoriale di energie rinnovabili.

Stima dell'energia solare radiante sul territorio tramite QGIS.

L'analisi si basa sul DTM o meglio sul DSM. Sebbene non ci sia ancora una distinzione ufficiale tra DEM, DSM e DTM, nella maggior parte dei casi si considera un DSM quel modello digitale che rappresenta la superficie terrestre e ciò che la ricopre (edifici, alberi...). Al contrario, un DTM rappresenta la superficie senza gli oggetti che la ricoprono. La radiazione solare è espressa in Watt per metro quadrato di superficie territoriale per giorno.

Il processo si articola nelle seguenti fasi:

Fase 1.

Si definiscono i giorni campione per il calcolo della mappa della energia solare, per esempio il giorno centrale di ogni mese o il giorno centrale delle quattro stagioni; nel secondo caso si ha:

Inverno, 15 gennaio numero giorno nell'anno 15;

Primavera, 15 aprile, numero giorno nell'anno 105;

Estate, 15 luglio, numero giorno nell'anno 196;

Autunno, 15 ottobre, numero giorno nell'anno 288.

Fase 2.

Si calcola la mappa della pendenza e dell'esposizione

Fase 3.

Tramite il modulo processing **r.sun** si imposta come da figura 40 per ogni giorno campione.

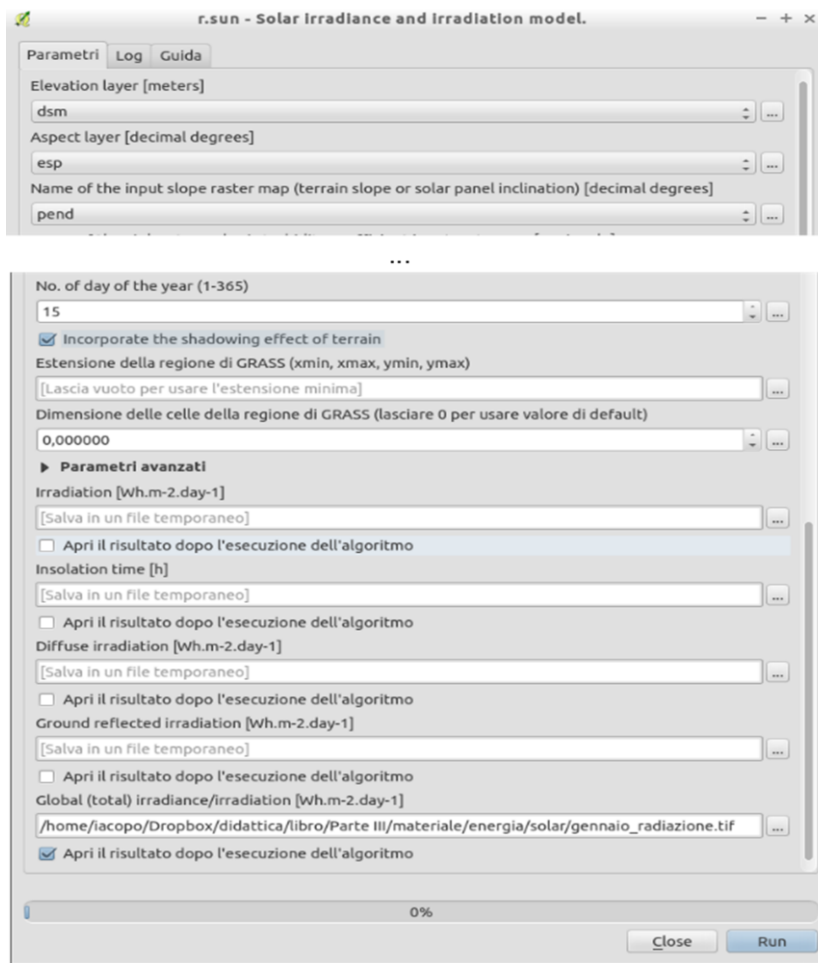


Figura 40: Calcolo della energia solare radiante tramite QGIS

Si ripete il calcolo modificando il parametro “No. of day of the year (1-365)” con i valori 105, 196, 288 e modificando in conseguenza il nome del file output.

Fase 4.

Tramite il calcolatore raster si imposta la seguente formula: “("gennaio_radiazione@1" + "aprile_radiazione@1" + "luglio_radiazione@1" + "ottobre_radiazione@1") / 4 * 365 / 1000”; ottenendo in output la radiazione globale espressa in Kwatt per metro quadro per anno.

La stima del potenziale bienergetico territoriale.

Offerta settore forestale

Il percorso di stima dei quantitativi di biomassa forestale ritraibile a scopi energetici nell’ambito del territorio si sviluppa attraverso i seguenti passaggi:

- Caratterizzazione delle superfici forestali, per fornire una prima indicazione in merito all’estensione complessiva dei boschi dell’area e un inquadramento su tipi forestali, destinazioni funzionali e forme di governo più rappresentative;
- Descrizione della viabilità agro-silvo pastorale, per valutare il livello di infrastrutturazione delle foreste dell’area e consentire le successive stime sul livello di accessibilità dei boschi;
- Inquadramento delle foreste di proprietà pubblica e delle superfici gestite in forma diretta dai Consorzi Forestali attivi sull’area, realtà di strategica importanza per la strutturazione di filiere bosco-legno-energia a scala territoriale. Le proprietà pubbliche e quelle gestite da Consorzi Forestali limitano infatti il rischio di estemporaneità degli approvvigionamenti, contengono il numero di interlocutori (proprietari boschivi) con i quali il gestore della filiera energetica deve interagire per la fornitura del combustibile e possono garantire la pianificazione pluriennale di forme esbosco sostenibili;

- Valutazioni sulle utilizzazioni forestali (tagli) già stabilmente in essere sul territorio, per evitare di comprendere, nelle stime finali di potenziale, quantitativi di biomassa legnosa che già trovano una propria collocazione sul mercato e che potrebbero essere quindi difficilmente intercettabili da nuove filiere energetiche;
- Stima dei quantitativi di biomassa ritraibili dalle foreste sulla base delle curve di Schaefer riportate in figura 37 e tenendo conto per ciascun tipo forestale del trade-off fra produzione legnosa e le altre utilità sociali del bosco (regimazione, qualità dello spazio forestale per zone di interesse turistico-ricreativo, aspetti naturalistici, ecc.) e delle relative forme di trattamento, (ceduo matricinato, ceduo composto, conversione del ceduo in fustaia, ecc.).

Offerta da residui agricoltura e ripulitura degli alvei fluviali e verde urbano

Le fasi dell'analisi sono le seguenti:

- Calcolo delle superfici soggette a potature: vigneti, oliveti, frutteti.
- Calcolo della estensione (lunghezza) degli alvei fluviali soggetti a manutenzione
- Calcolo delle superfici a verde urbano soggette a manutenzione
- Stima dei residui potenzialmente utilizzabili sulla base dei seguenti coefficienti tecnici:
- Coltivazioni legnose agrarie: residui da potature: 2 t/anno/ha + residui da sostituzione colture 40 t/anno/ha ogni 40 anni circa = 3 t/anno/ha
- Ripulitura alvei: circa 0,2 t/anno/metro di alveo
- Potature verde urbano: circa 0,06 t/anno/albero.

Considerando che il potere calorifero della legna è di circa 3500 kW/h/t è possibile calcolare una mappa di densità territoriale energetica da biomassa a partire da dati cartografici relativi all'uso del suolo e della copertura forestale.

Le risorse idriche

Il fabbisogno civile

I dati necessari per la stima dei fabbisogni civili sono rappresentati dalla ripartizione della popolazione residente per dimensione del nucleo abitato, come mostrato in tabella 1. Esaminando la ripartizione della popolazione comunale nelle tre categorie impiegate dall'ISTAT è possibile attribuire il coefficiente tecnico di fabbisogno idrico pro capite più verosimile. La tabella 11 sono riportate la consistenza della popolazione, I coefficienti tecnici ed I relativi fabbisogni civili della popolazione residente per i comuni della Val di Cornia. Il fabbisogno civile della popolazione residente è pari a 5.014.372 metri cubi per anno.

POPOLAZIONE	Tipo di territorio			
	centri abitati	nuclei abitati	case sparse	tutte le voci
COMUNI	popolazione residente (valori assoluti)			
Campiglia Marittima	10.790	598	1.832	13.220
Piombino	31.958	736	1.725	34.419
San Vincenzo	6.434	249	340	7.023
Sassetta	362	86	85	533
Suvereto	2.189	127	826	3.142
Monterotondo Marittimo	994	128	292	1.414
	52.727	1.924	5.100	59.751

CONSUMI PRO CAPITE I/g *	centri abitati	nuclei abitati	case sparse	
Campiglia Marittima	215	185	140	
Piombino	260	185	140	
San Vincenzo	215	185	140	
Sassetta	185	185	140	
Suvereto	185	185	140	
Monterotondo Marittimo	185	185	140	

FABBISOGNO IDRICO ANNUO mc	centri abitati	nuclei abitati	case sparse	TOTALE
Campiglia Marittima	846.745	40.380	93.615	980.740
Piombino	3.032.814	49.698	88.148	3.170.660
San Vincenzo	504.908	16.814	17.374	539.096
Sassetta	24.444	5.807	4.344	34.595
Suvereto	147.812	8.576	42.209	198.597
Monterotondo Marittimo	67.120	8.643	14.921	90.684
	4.623.844	129.918	260.610	5.014.372

* litri pro-capite al giorno - 100 litri = 0,1 mc .

I dati sulle presenze nelle seconde case sfuggono a tale rilevazione, ma una loro stima può essere effettuata impiegando i moltiplicatori (rapporto fra presenze totali e presenze rilevate) riportati in tabella 12.

	anno 2003				anno 2006				2006/2003	
	presenze ufficiali 2003	quote	presenze totali stimate	moltip. re	presenze ufficiali 2006	quote	presenze totali stimate	moltip. re	vma presenze ufficiali	vma con anche seconde case
Firenze	9.022.469	24,5	13.538.935	1,5	11.052.474	27,0	16.077.158	1,5	7,0	5,9
Arezzo	912.231	2,5	2.857.347	3,1	1.086.582	2,7	2.969.648	2,7	6,0	1,3
Grosseto	5.207.334	14,1	15.927.905	3,1	5.752.644	14,1	15.958.813	2,8	3,4	0,1
Livorno	7.367.544	20,0	15.000.910	2,0	7.646.126	18,7	15.261.276	2,0	1,2	0,6
Lucca	3.136.254	8,5	9.937.350	3,2	3.678.682	9,0	11.557.612	3,1	5,5	5,2
Massa C.	1.599.167	4,3	5.112.983	3,2	1.430.387	3,5	4.559.327	3,2	-3,6	-3,7
Pisa	2.526.766	6,9	4.396.278	1,7	2.763.275	6,7	4.494.492	1,6	3,0	0,7
Pistoia	2.380.719	6,5	5.993.977	2,5	2.548.076	6,2	6.390.117	2,5	2,3	2,2
Prato	409.286	1,1	1.340.928	3,3	494.168	1,2	1.423.658	2,9	6,5	2,0
Siena	4.275.561	11,6	5.821.946	1,4	4.491.041	11,0	5.946.700	1,3	1,7	0,7
Totale	36.837.331	100,0	79.928.559	2,2	40.943.455	100,0	84.638.801	2,1	3,6	1,9

Tabella 12: Presenze ufficiali e presenze totali stimate nelle province toscane negli anni 2003 e 2006. Valori assoluti, quote regionali, moltiplicatore e variazione percentuale media annua.

Combinando le diverse fonti e applicando il coefficiente di 0,2 metri cubi per giorno di presenza è possibile stimare i fabbisogni idrici della popolazione non residente stagionale in Val di Cornia (tabella 13).

COMUNE	provenienze	arrivi	presenze	moltiplicatore seconde case	presenze non rilevate
Monterotondo Marittimo	Totale	1.801	12.881	2,8	23.186
Monterotondo Marittimo	Stranieri	913	8.141	2,8	14.654
Monterotondo Marittimo	Italiani	888	4.740	2,8	8.532
Campiglia Marittima	Totale	26.254	163.326	2	163.326
Campiglia Marittima	Stranieri	9.150	79.887	2	79.887
Campiglia Marittima	Italiani	17.104	83.439	2	83.439
Piombino	Totale	129.387	748.626	2	748.626
Piombino	Stranieri	19.147	139.228	2	139.228
Piombino	Italiani	110.240	609.398	2	609.398
San Vincenzo	Totale	152.050	1.208.888	2	1.208.888
San Vincenzo	Stranieri	77.244	699.164	2	699.164
San Vincenzo	Italiani	74.806	509.724	2	509.724
Sassetta	Totale	4.394	19.335	2	19.335
Sassetta	Stranieri	2.005	10.963	2	10.963
Sassetta	Italiani	2.389	8.372	2	8.372
Suvereto	Totale	4.623	27.137	2	27.137
Suvereto	Stranieri	2.638	20.008	2	20.008
Suvereto	Italiani	1.985	7.129	2	7.129
TOTALE PRESENZE (2009)			2.180.193		2.190.498
FABBISOGNO IDRICO			436.039		438.100

Tabella 13: Fabbisogni idrici della popolazione non residente stagionale in Val di Cornia

Fabbisogni industriali

Anche per il fabbisogno industriale i dati di base sono reperibili tramite l'ISTAT facendo riferimento al 9° Censimento generale dell'industria e dei servizi 2011 all'indirizzo <http://dati-censimentoindustriaeservizi.istat.it/>.

L'unica difficoltà nell'applicare i metodi descritti sta nel dover riclassificare i coefficienti tecnici sulla base dei nuovi codici ATECO rispetto a quelli presenti in tabella 2. Nella tabella 14 è riportata la riclassificazione ed il calcolo del fabbisogno idrico per i comuni della Val di Cornia.

SISTEMI LOCALI DEL LAVORO

255 - Piombino

COMUNI	049002 - Campiglia Marittima	049012 - Piombino	049018 - San Vincenzo	Comuni < 5.000 abitanti	Totale
Attività manifatturiere ed estrattive, altre attività	764	4.966	173	118	6.021
Costruzioni	624	890	253	67	1.834
Commercio all'ingrosso e al dettaglio, trasporto e magazzinaggio, attività di alloggio e ristorazione	1.590	4.288	1.131	224	7.233
Servizi di informazione e comunicazione	43	121	9	1	175
Attività finanziarie e assicurative	86	222	38	12	358
Attività immobiliari	115	177	78	9	379
Attività professionali, scientifiche e tecniche, attività amministrative e di servizi di supporto	345	1.627	165	38	2.176
Istruzione, sanità e assistenza sociale	59	383	33	6	480
Altre attività di servizi	167	327	99	20	613
Totale	3.792	13.001	1.980	495	19.267

Tabella 13: A titolo informativo si riporta il N° degli addetti per macro settore secondo la classificazione ATECO 2007 e suddivisi per Sistemi Locali del Lavoro.

	Numero addetti delle unità locali delle imprese attive					Fabbisogno idrico mc
	Campiglia Marittima	Piombino	San Vincenzo	Sassetta	Suvereto	
05: estrazione di carbone (esclusa torba)	1600	0	0	0	0	0
06: estrazione di petrolio greggio e di gas naturale	1600	0	0	0	0	0
07: estrazione di minerali metalliferi	1600	0	0	0	0	0
08: altre attività di estrazione di minerali da cave e miniere	1130	48	1	0	0	5
09: attività dei servizi di supporto all'estrazione	500	0	0	0	0	0
10: industrie alimentari	1986	142	129	51	4	21
11: industria delle bevande	1986	0	0	0	0	1
12: industria del tabacco	343	0	0	0	0	0
13: industrie tessili	1300	3	10	0	0	0
14: confezione di abbigliamento, confezione di articoli in pelle e pelliccia	50	1	*	3	0	0
151: preparazione e concia del cuoio, fabbricazione di articoli da viaggio, borse, pelletteria e selleria, preparazione e tintura di pellicce	999	0	0	0	0	0
152: fabbricazione di calzature	26	0	3	0	0	0
161: taglio e piallatura del legno	1100	0	0	0	1	0
162: fabbricazione di prodotti in legno, sughero, paglia e materiali da intreccio	1100	21	16	3	0	3
171: fabbricazione di pasta-carta, carta e cartone	6700	0	0	0	0	0
172: fabbricazione di articoli di carta e cartone	6700	0	0	0	0	0
181: stampa e servizi connessi alla stampa	50	14	8	2	0	2
182: riproduzione di supporti registrati	50	0	1	0	0	0
19: fabbricazione di coke e prodotti derivanti dalla raffinazione del petrolio	8634	0	0	0	0	0
20: fabbricazione di prodotti chimici	8067	0	37	27	0	0
21: fabbricazione di prodotti farmaceutici di base e di preparati farmaceutici	8067	0	0	0	0	0
22: fabbricazione di articoli in gomma e materie plastiche	1232	116	64	0	0	21
231: fabbricazione di vetro e di prodotti in vetro	2250	6	4	3	0	0
232: fabbricazione di prodotti refrattari	1236	0	2	0	0	0
233: fabbricazione di materiali da costruzione in terracotta	1236	0	0	0	0	0
234: fabbricazione di altri prodotti in porcellana e in ceramica	1236	0	2	0	0	0
235: produzione di cemento, calce e gesso	1236	24	0	0	0	0
236: fabbricazione di prodotti in calcestruzzo, cemento e gesso	1236	*	17	6	0	0
237: taglio, modellatura e finitura di pietre	1236	2	8	8	0	2
239: fabbricazione di prodotti abrasivi e di prodotti in minerali non metalliferi nca	1236	1	0	0	0	0
24: metallurgia	3800	0	2757	0	0	0
25: fabbricazione di prodotti in metallo (esclusi macchinari e attrezzature)	1000	89	395	29	0	29
26: fabbricazione di computer e prodotti di elettronica e ottica, apparecchi elettromedicali, apparecchi di misurazione e di orologi	370	0	12	0	0	0
27: fabbricazione di apparecchiature elettriche ed apparecchiature per uso domestico non elettriche	370	0	3	0	0	0
28: fabbricazione di macchinari ed apparecchiature nca	500	17	53	0	0	*
29: fabbricazione di autoveicoli, rimorchi e semirimorchi	500	0	5	0	0	0
30: fabbricazione di altri mezzi di trasporto	500	0	6	0	0	0
31: fabbricazione di mobili	50	1	1	0	0	0
32: altre industrie manifatturiere	50	13	31	2	0	*
33: riparazione, manutenzione ed installazione di macchine ed apparecchiature	50	53	626	26	0	31
35: fornitura di energia elettrica, gas, vapore e aria condizionata	300	2	288	0	0	30
36: raccolta, trattamento e fornitura di acqua	0	34	0	0	0	0
37: gestione delle reti fognarie	0	0	*	0	0	0
38: attività di raccolta, trattamento e smaltimento dei rifiuti recupero dei materiali	500	1	157	0	0	0
39: attività di risanamento e altri servizi di gestione dei rifiuti	50	0	0	0	0	0
F: costruzioni	4	666	779	199	14	71
TOTALE						29
						13.095,750

Tabella 14: Fabbisogni idrici industriali in Val di Cornia.

Fabbisogno idrico in agricoltura.

Come illustrato nella parte teorica, il fabbisogno d'acqua nel settore agricolo dipende principalmente dalle specifiche esigenze idriche delle colture realizzate sul territorio in esame. Il consumo può quindi variare in modo più o meno sensibile tra un anno e l'altro in funzione delle superficie dedicate a ciascuna coltivazione. Il 6° Censimento generale dell'agricoltura (<http://dati-censimentoagricoltura.istat.it/>) consente di avere una "fotografia" di tale ripartizione di superfici per l'anno 2010. Nella tabella 15 è riportata la ripartizione delle superfici coltivate in Val di Cornia nel 2010.

Superfici coltivate	Cereali	Legumi	Mais	Ortive	Foraggere
Campiglia Marittima	566.58	15.40	256.00	968.90	178.58
Piombino	1,093.00	44.50	551.20	266.54	474.47
San Vincenzo	209.72	66.90	104.08	59.58	40.32
Sassetta				1.20	19.40
Suvereto	257.04	4.16	53.76	120.72	394.04
Monterotondo Marittimo	292.36		12.50	2.24	636.70
Totale	2418.7	130.96	977.54	1419.18	1743.51

Superfici coltivate	Vite	Olivo	Fruttiferi	Altro	Totale
Campiglia Marittima	73.44	528.46	20.82	15.84	2,624.02
Piombino	92.78	419.03	19.80	36.20	2,997.52
San Vincenzo	15.12	169.53	7.35	0.00	672.60
Sassetta	0.30	29.86	29.82	0.00	80.58
Suvereto	239.22	497.14	7.70	0.02	1,573.80
Monterotondo Marittimo	29.64	133.14	30.75	0.00	1,137.33
Totale	450.5	1777.16	116.24	52.06	9,085.85

Tabella 15: Ripartizione delle superfici per coltura in Val di Cornia secondo il 6° censimento generale dell'agricoltura.

Come illustrato nella parte teorica, il fabbisogno irriguo di una coltura dipende, oltre che dalla specie, dalla evapotraspirazione reale e dalla disponibilità di acqua in termini di pioggia utile e di capacità di campo. Il repertorio più ampio di coefficienti colturali Kc è quello raccolto dalla FAO nel rapporto Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop

water requirements²⁸ e disponibile on line all'indirizzo <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm>.

La stima dei fabbisogni irrigui per una specifica localizzazione spaziale richiede la disponibilità dei valori mensili di temperatura ed evotraspirazione potenziale, così come illustrati al Parte I. Tramite tali dati è possibile calcolare la pioggia utile alle colture (tabella).

Mesi	Temperatura media	Precipitazioni	ETP	Pioggia utile
gennaio	8.50	62.00	8.66	35.34
febbraio	9.20	60.00	8.06	34.27
marzo	10.90	57.00	12.12	33.03
aprile	13.40	55.00	14.12	32.13
maggio	17.00	43.00	18.51	25.94
giugno	20.90	30.00	20.17	18.57
luglio	23.80	16.00	22.69	9.87
agosto	23.90	35.00	21.13	21.54
settembre	21.10	61.00	16.86	35.49
ottobre	16.90	89.00	13.99	49.24
novembre	12.60	93.00	9.72	50.67
dicembre	9.50	70.00	8.20	39.33
TOTALE	15.64	671.00	174.23	

Tabella 16: Calcolo della pioggia utile per il sistema ambientale della pianura in Val di Cornia.

Applicando i coefficienti colturali delle colture presenti e rilevate nel censimento agricoltura è possibile calcolare i seguenti fabbisogni in termini di mm di acqua necessaria per l'irrigazione.

²⁸ Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109.

Mesi	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno
kc frumento Fabb.Frum			0.30	0.45	0.58	0.70
kc foraggiere Fabb.For				0.88	0.88	0.88
kc Legumi Fabb.Legum				0.50	0.85	1.11 22.38
kc patata Fabb.Patata				0.50	0.83	1.15 23.19
kc barbabietola Fabb.Barb					0.40	0.50
kc mais Fabb.Mais				0.57	0.81	1.50 21.17
kc orticolre Fabb.Ort				0.60	0.80	1.00 2.17
kc vite Fabb.Vite				0.30	0.43	0.57
kc olivo Fabb.Olivo	.5	.5	.5	.6	.55	.5

Mesi	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	TOTALE
kc frumento Fabb.Frum	0.80 18.16						18.16
kc foraggiere Fabb.For	0.88 19.86	0.88	0.88				19.86
kc Legumi Fabb.Legum	1.00 22.69	0.90					45.77
kc patata Fabb.Patata	0.90 2.42	0.65					43.61
kc barbabietola Fabb.Barb	0.95 21.56	1.10 23.25					44.85
kc mais Fabb.Mais	1.75 24.40	1.10 23.25					68.82
kc orticolre Fabb.Ort	0.85 19.29	0.70					39.45
kc vite Fabb.Vite	0.70 15.89	0.62	0.53	0.45			15.89
kc olivo Fabb.Olivo	.45 1.21	.45	.55	.6	.65	.5	1.21

Tabella 17: Coefficienti colturali e fabbisogno irriguo in mm di acqua nel sistema ambientale della pianura in Val di Cornia.

Applicando i coefficienti di tabella 17 alla ripartizione delle superfici di tabella 15 è possibile calcolare il fabbisogno idrico delle colture nei comuni in esame.

	cereali	legumi	Mais	ortive	foraggiere
mm deficit idrico	18.16	45.08	68.82	39.45	19.86
Campiglia Marittima	102890.928	6942.32	176179.2	382231.05	35465.988
Piombino	198488.8	20060.6	379335.84	105150.03	94229.742
San Vincenzo	38085.152	30158.52	71627.856	23504.31	8007.552
Sassetta	0	0	0	473.4	3852.84
Suvereto	46678.464	1875.328	36997.632	47624.04	78256.344
Monterotondo Marittimo	53092.576	0	8602.5	883.68	126448.62
Totale	439254.08	59081.848	672811.848	559905.96	346280.946

	vite	olivo	fruttiferi	altro	Totale
mm deficit idrico	15.89	10.21	10.21	18.16	
Campiglia Marittima	11669.616	53955.766	2125.722	2876.544	774,337
Piombino	14742.742	42782.963	2021.58	6573.92	863,386
San Vincenzo	2402.568	17309.013	750.435	0	191,845
Sassetta	47.67	3048.706	3044.622	0	10,467
Suvereto	38012.058	50757.994	786.17	3.632	300,992
Monterotondo Marittimo	4709.796	13593.594	3139.575	0	210,470
Totale	71600.34	181448.036	11868.104	9472.256	2,351,498

Tabella 18: Fabbisogni idrico in metri cubi per i comuni della Val di Cornia.

La stima del coefficiente di efficienza E_y può essere effettuata sempre tramite i dati del censimento dell'agricoltura. Quest'ultimo infatti rileva il prelievo di acqua da parte delle aziende agricole per fonte di approvvigionamento irriguo (tabella 19).

	Campiglia Marittima	Piombino	San Vincenzo	Sassetta	Suvereto	Monterotondo Marittimo	Totale
Acque sotterranee all'interno o nelle vicinanze dell'azienda	1,496,824	559,539	385,078	5,873	287,708	0	2,735,022
Acque superficiali all'interno dell'azienda	171,613	272,071	6,731	0	227,670	0	678,085
Acque superficiali al di fuori dell'azienda	0	34,968	76,078	0	30,679	0	141,725
Consorzio di irrigazione e bonifica consegna a turno	429,469	2,624	0	0	0	487	432,580
Consorzio di irrigazione e bonifica	970	25,984	0	0	0	0	26,955
Altra fonte	89,205	0	4,423	0	5,654	0	99,282
Totale	2,188,082	895,186	472,309	5,873	551,711	487	4,014,001

Tabella 19: Prelievo di acqua per irrigazione per fonte di approvvigionamento.

Dai dati riportati si può quindi calcolare un coefficiente di efficienza pari a $2.351.498 / 4.014.001 = 0,58$.

Le risorse forestali

La verifica delle regole di sostenibilità.

Come evidenziato nella parte teorica, la verifica delle regole di sostenibilità del prelievo forestale la regola che determina la sostenibilità del prelievo forestale stabilisce che il prelievo legnoso per anno deve essere inferiore alla capacità rigenerativa del bosco. In termini planimetrici, per un bosco a fertilità più o meno costante, come si dovrebbe avere in un **tipo forestale**, la superficie tagliata ogni anno deve essere inferiore o al massimo uguale alla superficie totale del tipo forestale divisa per gli anni del turno consuetudinario:

$$prelievo_{tipo\ forestale} \leq \frac{Superficie_{tipo\ forestale}}{Turno_{tipo\ forestale}}$$

In termini percentuali:

$$prelievo_{tipo\ forestale} \leq \frac{1}{Turno_{tipo\ forestale}} \cdot 100$$

Per quanto riguarda la scelta del turno, la legge forestale regionale Toscana prescrive un turno minimo di 8 anni per il castagno, di n18 anni per le specie quercine e di 24 anni per il faggio. I turni consuetudinari in Toscana, come da una recente ricerca, risultano superiori ed in genere orientati intorno ai 30-32 anni (tabella 20).

Tipologia di ceduo	Età media
Ceduo semplice a prevalenza di specie quercine (cerro, roverella)	31
Ceduo semplice a prevalenza di roverella	31
Ceduo semplice a prevalenza di cerro	32
Ceduo semplice misto a prevalenza di roverella e carpino nero	31
Ceduo semplice misto a prevalenza di cerro e carpino nero	32
Ceduo semplice misto a prevalenza di cerro e castagno	28
Ceduo semplice misto a prevalenza di specie quercine, castagno, carpino nero	31
Ceduo a sterzo di faggio	35

Tabella 20: Turni consuetudinari dei cedui in Val d'Arno e Val di Sieve

La procedura per effettuare tale verifica è la seguente.

1. La base dati geografica di partenza è il layer delle tipologie forestali (figura 21).

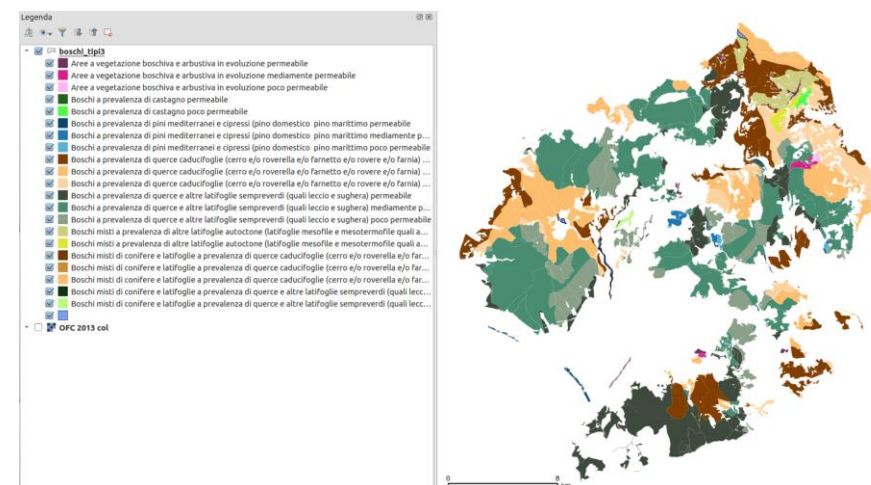
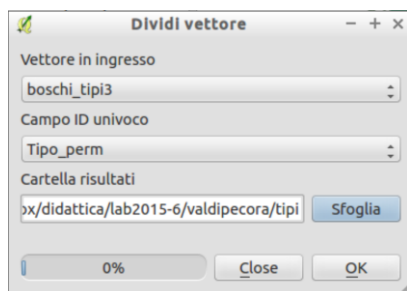
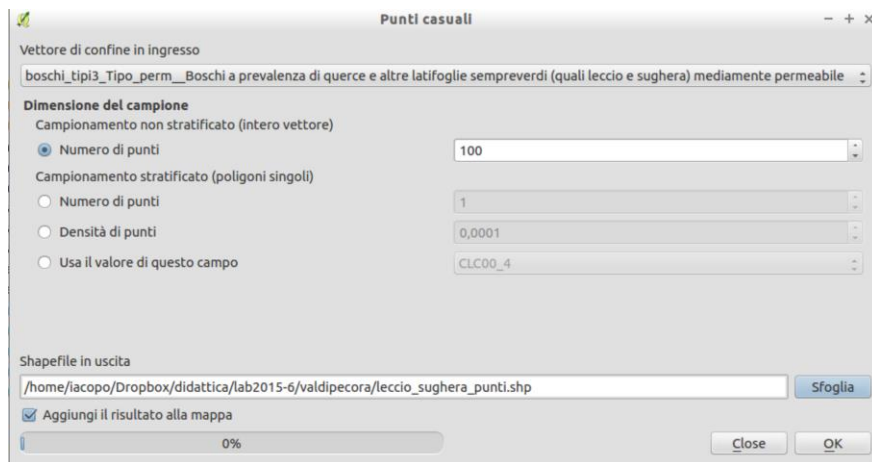


Figura 21: Tipi forestali

2. Innanzitutto è opportuno creare un geodatabase (shapefile) separato per ogni tipo tramite il comando Vettore – Strumenti di gestione dati – dividi.



3. Successivamente, avendo caricato un tipo forestale in legenda, tramite il comando Vettore – strumenti di ricerca – Punti casuali, si genera un opportuno numero di punti casuali all'interno della superficie del tipo.



Un esempio del risultato è riportato in figura 22.

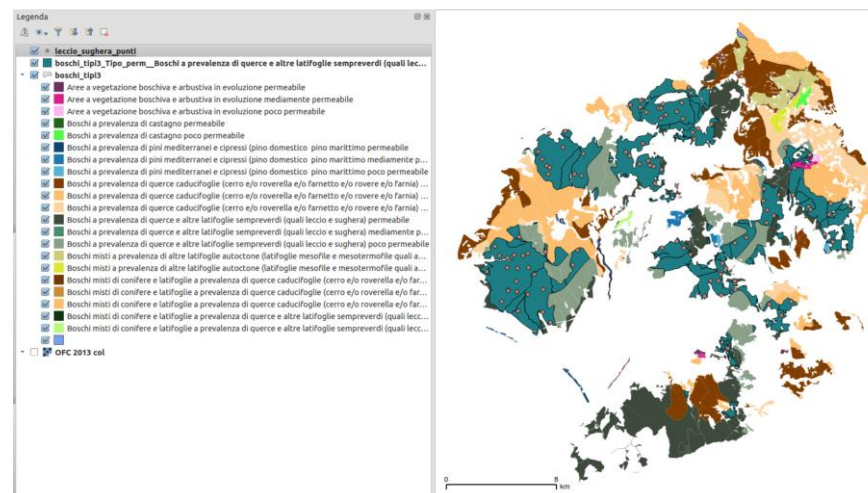


Figura 22: Punti casuali in un tipo forestale.

4. Infine si esamina, tramite una ortofoto, il numero dei punti che ricadono in una tagliata recente (figura 23).

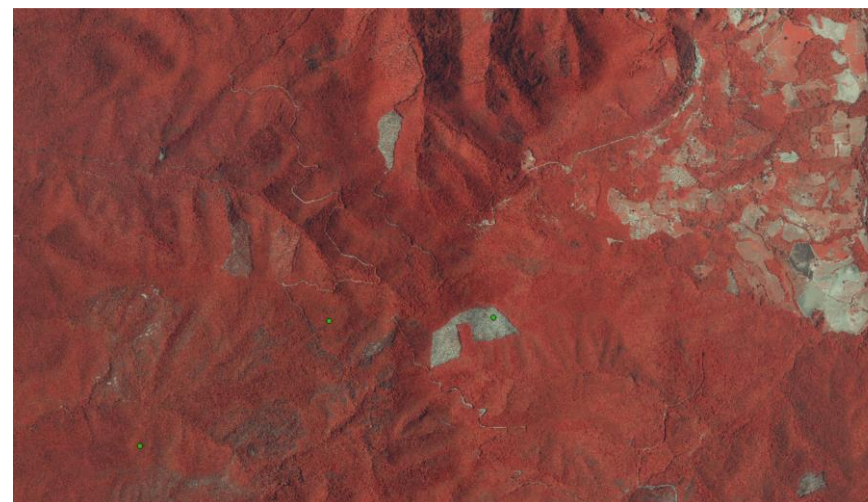


Figura 23: Conteggio dei punti in una tagliata recente.

Se la percentuale dei punti che ricadono all'interno di tagliate recenti è inferiore (o al massimo uguale) a $1/\text{Turno} \cdot 100$, il prelievo nel tipo forestale è sostenibile.

Il trade-off produzione ambiente

Per analizzare il problema consideriamo un bosco ceduo di cerro in ambiente mediterraneo su substrato marnoso arenaceo e pendenza del 25% e due utilità sociali: produzione per ettaro di biomassa e regimazione dei deflussi. Le tre opzioni di trattamento sono:

- trattamento a ceduo matricinato con 60-70 matricine per ettaro;
- matricinatura intensiva (100-120 matricine per ettaro) fino a giungere alla realizzazione di un ceduo composto;
- avviamento a fustaia.

Considerando il trattamento a ceduo matricinato, la situazione del bosco dopo il taglio è rappresentata nelle figure 24, 25 e 26. La copertura del suolo da parte dei nuovi polloni si ottiene dopo circa 10 anni (figura 27).

A fronte di una produzione di legna da ardere e chips per impianti a biomassa pari a 110 metri cubi per ettaro, gli effetti sul ciclo dell'acqua sono i seguenti. Prima del taglio, considerando la copertura totale del suolo da parte del bosco il CIP relativo al complesso pendenza-suolo pari a 85, ed un CIP relativo alla geologia di 25, il coefficiente di infiltrazione percentuale è pari al 21%. Dopo il taglio l'infiltrazione è in parte condizionata dal suolo nudo ed in parte dalla residua copertura delle matricine. Stimando un diametro medio delle matricine di 7 metri, la percentuale del suolo coperta dal bosco è calcolata come segue:

$$\text{copertura matricine} = \frac{65 \text{ matricine/ha} \times (7/2)^2 \times \pi}{100000} \times 100 = 25\%$$

dove il numeratore calcola la superficie coperta dalle chiome delle matricine. Il rimanente 75% di superficie coperta da suolo nudo ha un CIP suolo-pendenza pari a 50 con un coefficiente di infiltrazione percentuale del 12,5%. Il valore complessivo del bosco dopo il taglio è pari a $12,5\% \times 0,75 + 21\% \times 0,75 = 14\%$.

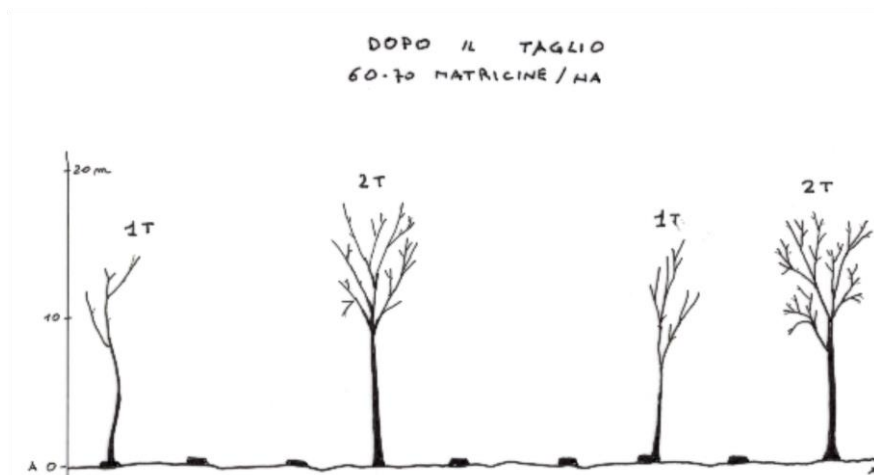


Figura 24: Ceduo matricinato dopo il taglio. Sezione.

Considerando che la copertura del suolo da parte del bosco si ripristina dopo 10 anni, l'andamento nel tempo delle due utilità sociali considerate (regimazione deflussi e produzione biomassa) è riportato nella figura 28.

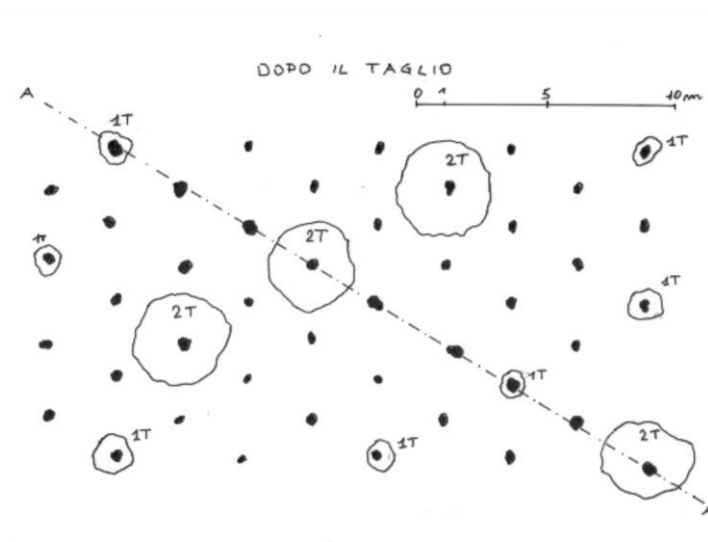


Figura 25: Ceduo matricinato dopo il taglio. Planimetria

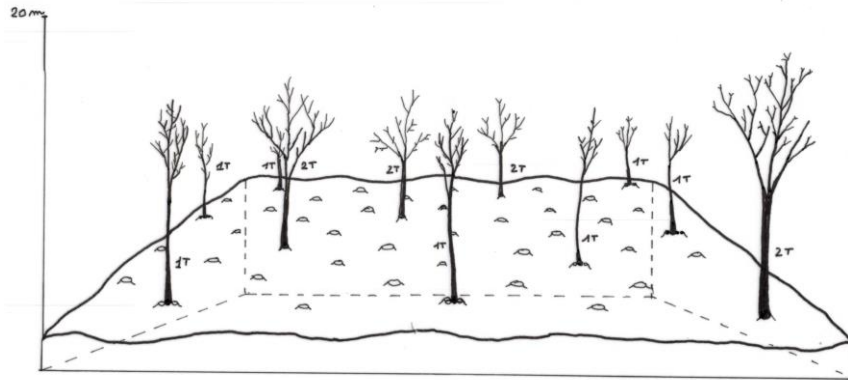


Figura 26: Ceduo matricinato dopo il taglio. Prospettiva.

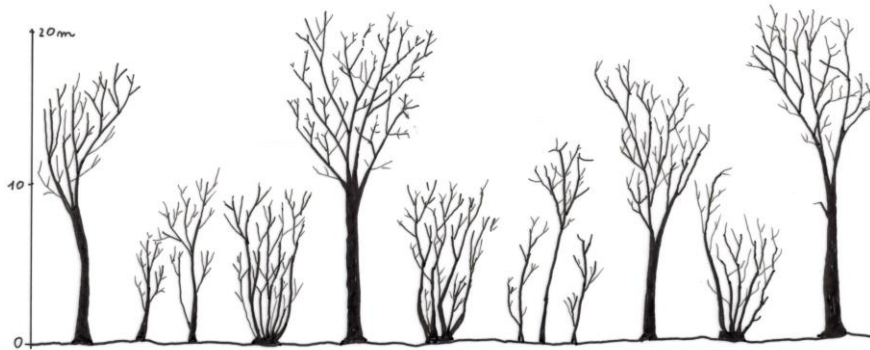


Figura 27: Ceduo matricinato 10 anni dopo il taglio. Sezione.

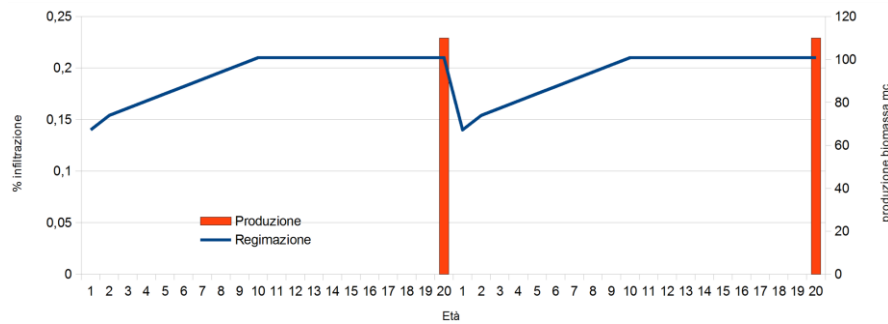


Figura 28: Variazioni nel tempo delle utilità sociali produzione e regimazione dei deflussi

Ripetendo il procedimento descritto per l'opzione matricinatura intensiva si ottengono i seguenti risultati:

$$\text{Produzione biomassa} = 77,6 \text{ m}^3 / \text{ha}$$

$$\text{copertura matricine} = \frac{100 \text{ matricine / ha} \times (7/2)^2 \times \pi}{100000} \times 100 = 40 \%$$

$$\text{CIP dopo il taglio} = 12,5 \% \times 0,60 + 21 \% \times 0,40 = 16 \%$$

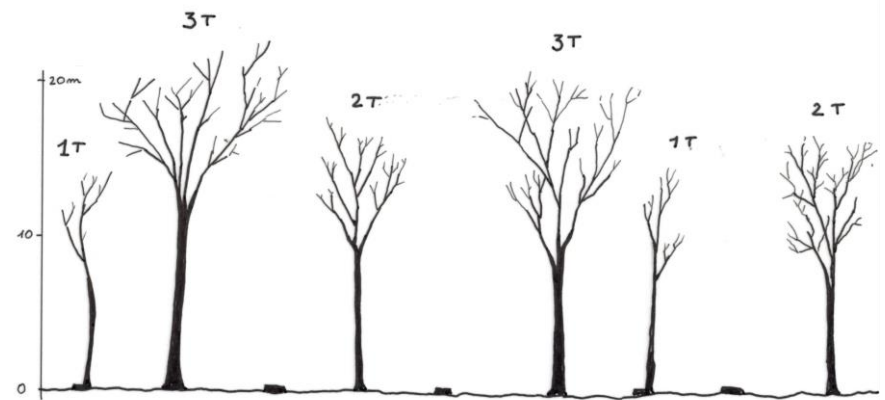


Figura 29: Matricinatura intensiva. Sezione.

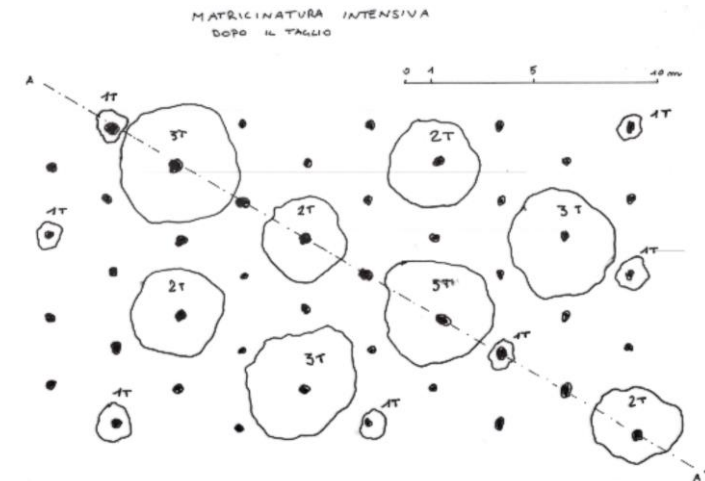


Figura 30: Matricinatura intensiva. Pianta.

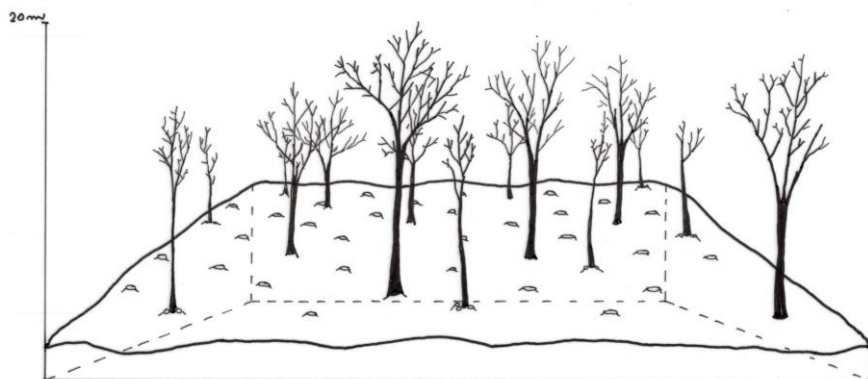


Figura 31: Matricinatura intensiva. Prospettiva.

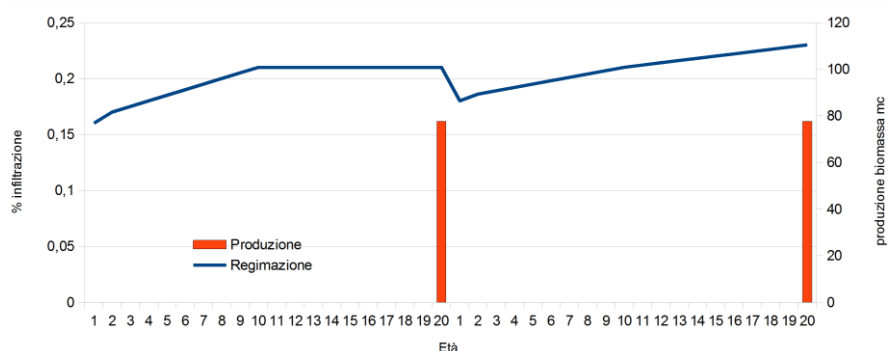


Figura 32: Matricinatura intensiva. Variazione nel tempo delle utilità sociali.

La condizione del bosco dopo il taglio e la variazione nel tempo delle utilità sociali sono riportate nelle figure da 29 a 32.

Infine per l'opzione avviamento a fustaia (figure 33 da a 36) è necessario considerare si mantiene costantemente la copertura del suolo da parte del bosco; inoltre la trasformazione da bosco ceduo ad alto fusto porta ad un miglioramento del coefficiente CIP suolo-pendenza che diviene pari a 100, con un miglioramento coefficiente di infiltrazione percentuale finale che passa dal 21 al 25%. La produzione di biomassa si riduce però fino a 43,2 metri cubi per ettaro.

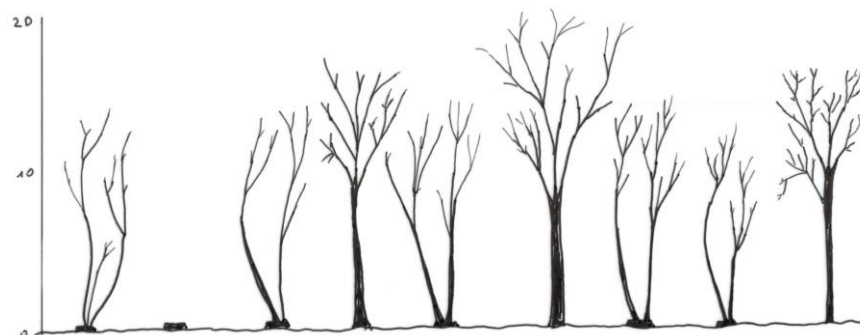


Figura 33: Avviamento a fustaia. Sezione dopo il taglio.

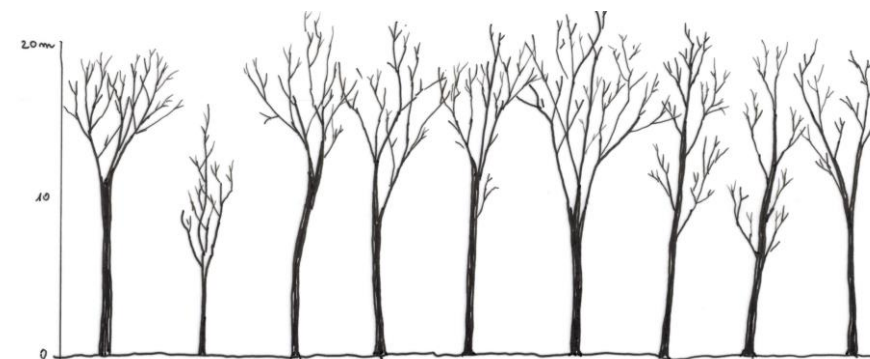


Figura 34: Avviamento a fustaia. Sezione dopo 10 anni dal taglio di avviamento.

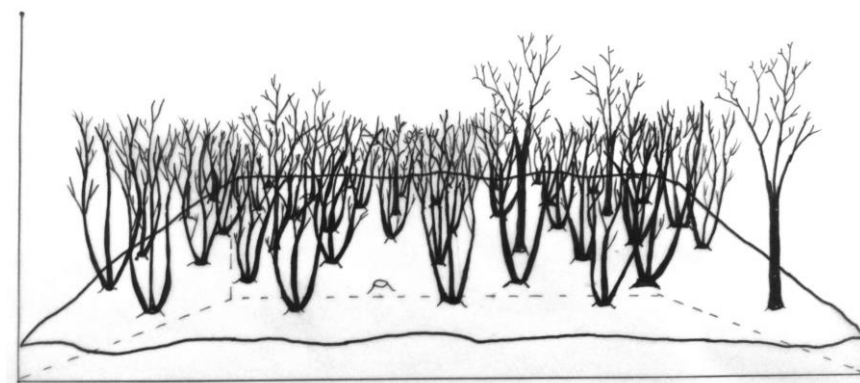


Figura 35: Avviamento a fustaia. Prospettiva dopo il taglio.

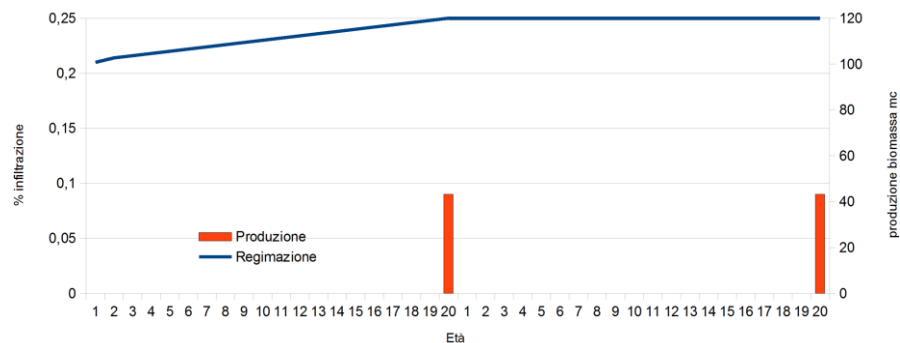


Figura 36: Avviamento a fustaia. Variazione nel tempo delle utilità sociali.

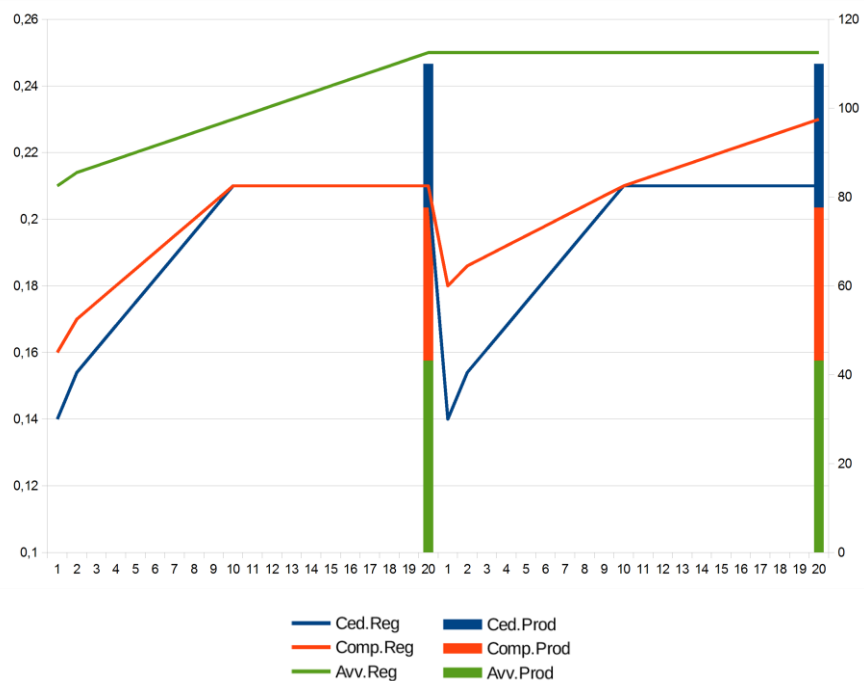


Figura 36: Avviamento a fustaia. Variazione nel tempo delle utilità sociali.

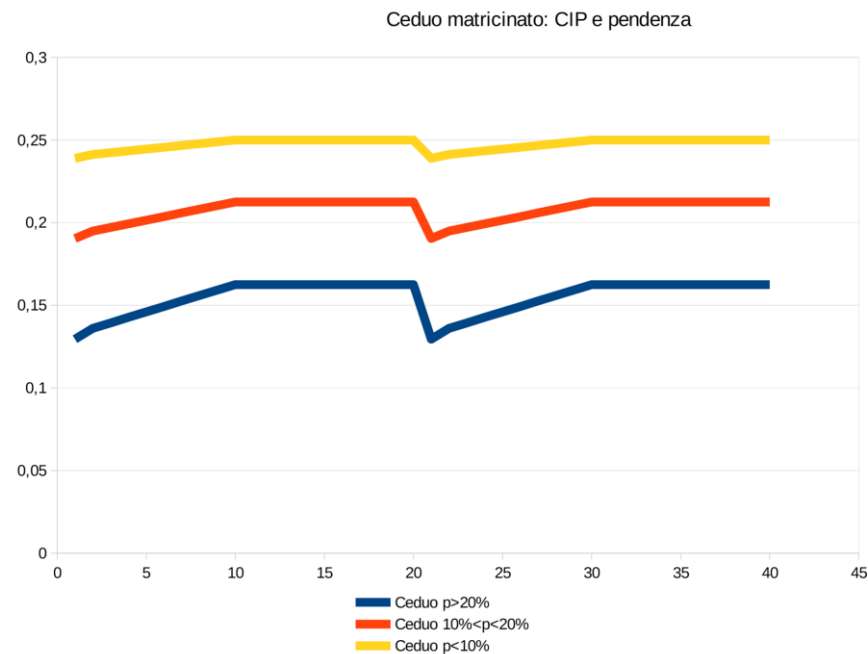


Figura 38: Variazione della utilità di regimazione dei deflussi in diverse condizioni di pendenza.

Le tre opzioni a confronto sono riportate nel grafico in figura 37. La variazione nel tempo delle utilità sociali è influenzata, oltre che dalle opzioni di trattamento anche dalle condizioni della morfologia e della geologia. Esaminando la figura 38, che mostra l'andamento nel tempo della funzione di regimazione per tre diverse condizioni di pendenza, si può notare come le variazioni si vadano accentuando all'aumentare della pendenza. Infine, la figura 39 mostra per le tre opzioni come all'aumentare della produzione legnosa diminuisca la capacità di regimazione da parte del bosco. Questo fenomeno di scambio fra due utilità sociali in "contrasto" fra loro dipende evidentemente dal fatto che per realizzare la produzione legnosa è necessario scoprire il suolo ed è detto "scambio (in inglese *trade-off*) produzione-ambiente" e si manifesta per molte coppie di utilità sociali, quali, p.e. quella fra occupazione generata dal bosco e paesaggio forestale o fra redditività del bosco e habitat per la fauna selvatica.

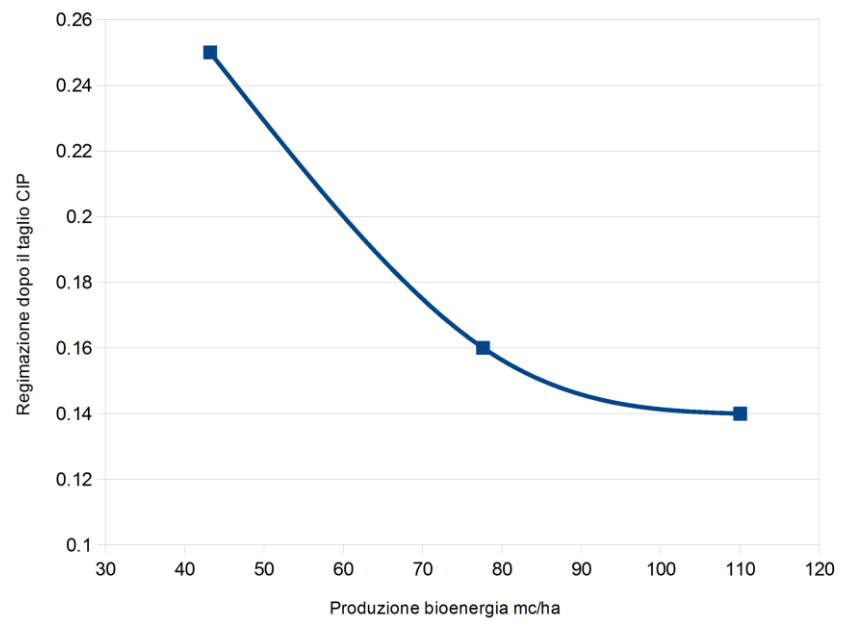


Figura 39: Trade-off produzione ambiente

L'utilità turistico-ricreativa.

L'abaco seguente²⁹ riporta alcuni esempi di schemi di trattamento relativi al perseguimento di prelievi di biomassa legnosa sostenibili con l'utilità sociale turistico-ricreativa del bosco²⁹.



Quinte: La creazione di quinte cerca di rendere meno “traumatico” il taglio del bosco nelle situazioni di sentieri e percorsi. Qui viene pensata una zona di margine, di cuscinetto, che nasconde all’occhio del ciclista e dell’escursionista il taglio, dando l’impressione di rimanere comunque immerso in un bosco. Laddove il taglio risulti inevitabile questo maschererebbe, attraverso quinte di alberi, gli interventi adoperati sul bosco. Ritenendo di poter differenziare, secondo un criterio di visibilità, la porzione di bosco che sta a monte e quella che sta a valle, le aree cuscinetto saranno rispettivamente di 10 e 20 metri, dopo i quali potrà cominciare il taglio.



Punti panoramici: Una situazione diversa è quella che il taglio possa “aprire” allo sguardo porzioni panoramiche di territorio particolarmente interessanti. Qui l’indirizzo è quello di consentire un taglio a valle del bosco a ridosso del sentiero, mentre a monte rimangono i 10 metri di tolleranza, di modo da creare degli scorci panoramici. L’individuazione e la scelta di queste aree non dovrebbe però essere casuale, ma studiata con cognizione di causa, magari riuscendo ad offrire al turista panorami significativi.



Filari di pregio: Questo caso nasce dalla suggestione che una particolare situazione naturalistica può destare agli occhi del turista. Così due filare di alberi particolarmente belli offrono uno scorcio affascinante che il turista apprezza passandovi attraverso. La tutela di situazioni paesisticamente belle sarà attuata attraverso una zona di tolleranza, in presenza di taglio, di 15 metri su ambo i lati.



Recupero incendio: Recuperare aree percorse da incendio richiede interventi mirati che necessitano di approfonditi studi da parte di agronomi e forestali. Quindi limitiamoci a suggerire che si possono creare aree di “ammonimento”, delle zone in cui il turista escursionista sia messo di fronte alla realtà di un incendio e in modo da vedere ciò a cui, spesso, la sbadataggine o l’ignoranza portano. Si verrebbero a creare così aree di recupero accanto ad aree non recuperate, una specie di “museo della coscienza forestale” dove portare i bambini, per insegnare fin da piccoli a rispettare il bosco, la natura e l’ambiente.

²⁹ Tratta dalla tesi di laurea triennale di Christian Ciampi “Valorizzazione del turismo naturalistico sul Montalbano”, AA 2003-2004.