

Sezione Speciale - VII Congresso SISEF: "Sviluppo, adattamento, naturalità e conservazione"  
(a cura di: M. Marchetti, R. Tognetti)

## Analisi multitemporale dei flussi energetici nel paesaggio di Castagneto Carducci (LI) fra il XIX e XX secolo

Santoro A\*, Agnoletti M

DEISTAF, Università di Firenze, v. S. Bonaventura 13, I-50145 Firenze (Italy) - \*Corresponding Author: Antonio Santoro (antonio.santoro@unifi.it).

**Abstract:** Multi-temporal analysis of energetic fluxes in the Maremma landscape (Italy) between XIX and XX century. Using the energy flow account and the input/output analysis is possible to assess the "energetic sustainability" of landscape, in order to define policies as well as planning and management tools of the rural territory. The study area is the municipality of Castagneto Carducci, located on the Tuscan coastline, in the Leghorn district. The area, 14.000 hectares wide, is characterized by wooded hills in the inner part, a narrow dunal band along the coastline with mixed pine woods, and a flat area in the middle where all the major infrastructures and agricultural activities are located. The economy is based on tourism and on high quality wine production. The energy balance is not only referred to the present situation, but we have carried out the balances for the years 1832 and 1954, in order to assess the energy use evolution through the last 180 years, according to a multitemporal methodology developed for monitoring the dynamics of Tuscan landscape. The energy balances examine all the energy flows result from the various activities in agriculture, forestry and animal husbandry. The study area must be considered as a close system, and we have to value the energy flows between the inside and the outside of this system, and how this energy is used inside of it. The three periods show different landscapes, due to the different socio-economic situation. In 1832 we find a traditional agricultural structure, based on large estate and on mezzadria management; in 1954 the mezzadria gives way to the diffusion of industrial agriculture and animal husbandry, while olive orchards became one of the main elements of the landscape. From the '70s we attend at the proliferation of vineyards, and in few years Castagneto will become the area where some of the best Italian wines are produced (Sassicaia, Ornellaia). The wooded areas have undergone a dramatic change in their spatial location, specific composition, density and structure, but the extension remains the same, and it is approximately the half of the total communal area. In the 19th century the system was completely self-reliant about the production and the use of energy, but, with the intensification of agriculture after the Second World War, the local system consumes more energy than it is produced, because of the energy imports coming from outside. Using a lot of energy brings to high productivity, but also to a less energetic efficiency compared to the 19th century and to a degradation of the landscape. The wooded areas can have an important role in mitigating the energy inefficiency, although only few of these are periodically managed; wooded areas and agricultural areas are not managed together, but they seem to be two different worlds, there is a lack of integrated approach.

**Keywords:** Social metabolism, Input/output analysis, Energy consumption, Energy flows, Agro-ecosystem, Landscape

Received: Feb 08, 2010; Accepted: Jul 20, 2010

**Citation:** Santoro A, Agnoletti M, 2010. Analisi multitemporale dei flussi energetici nel paesaggio di Castagneto Carducci (LI) fra il XIX e XX secolo. Forest@ 7: 199-222 [online: 2010-10-13] URL: <http://www.sisef.it/forest@/>.

### Introduzione

Con l'introduzione del paesaggio nel Piano Strategico Nazionale di Sviluppo Rurale 2007-2013 (Agnoletti et al. 2006a) e la ratifica della convenzione euro-

pea del paesaggio da parte dell'Italia, si è aperta una fase in cui da valutazioni incentrate sulla natura estetica, sulla biodiversità o sulla storicità di un paesaggio, si è arrivati alla proposizione di modelli di pae-

saggio da sostenere con politiche specifiche (Agnoletti et al. 2006b). Questo comporta la considerazione di altre valenze relative alla sostenibilità del paesaggio che necessitano l'armonizzazione di fattori economici, sociali ed ambientali nell'ambito del governo del territorio, valutati anche dal punto di vista energetico. È utile quindi anche nell'ambito della pianificazione forestale, ultimamente sempre più sostenuta anche a livello legislativo nel settore rurale, che si tenga conto del ruolo del bosco come elemento di un paesaggio le cui funzioni vengono valutate nell'ambito delle relazioni esistenti fra le tutte le componenti di un sistema paesistico. Ciò in opposizione ad atti pianificatori, impropriamente chiamati tali, che spesso si risolvono nel semplice accertamento degli aspetti produttivi o naturalistici delle componenti boscate, da cui dovrebbe automaticamente discendere la funzione da assegnare alle unità a bosco nel governo di un territorio.

In questa visione di sistema di un territorio, se è vero che le tre principali variabili dei sistemi rurali, ma più in generale di tutti i sistemi, sono l'uomo, l'ambiente circostante e l'energia (Vasey 1992 in Krausmann 2004), è quanto mai necessario analizzare come le diverse attività umane influiscono sui flussi energetici, soprattutto in un periodo storico come quello attuale, dove la questione energetica e la sostenibilità, spesso definita come il poter soddisfare le necessità del presente, senza compromettere la possibilità alle generazioni future di soddisfare le proprie, sono concetti, sempre più dibattuti. L'approccio metodologico di seguito proposto, permette di valutare i diversi sistemi socio-ecologici, ed i paesaggi cui questi danno luogo, in termini di sostenibilità, anche ai fini di supporto ai vari strumenti di programmazione e pianificazione territoriale.

Nel seguente studio è stata realizzata un'analisi energetica, detta anche del metabolismo sociale, definito dal sociologo tedesco Adam Schäffle come "lo studio dei flussi energetici e di materiale, ad una determinata scala spaziale e temporale" (Padovan 2000), del territorio comunale di Castagneto Carducci, in provincia di Livorno. Questo tipo di studio permette di analizzare tutti i flussi energetici che determinano un certo paesaggio, considerando gli input e gli output di molteplici attività in un determinato periodo storico, ed infine di realizzare un vero e proprio bilancio energetico, dando così la possibilità di effettuare considerazioni su quali possono essere le pratiche più "virtuose" in termini di efficienza energetica e di sostenibilità.

L'area oggetto dello studio fa parte del progetto

per il monitoraggio del paesaggio Toscano (Agnoletti et al. 2006a), costituito da una serie di aree in cui viene analizzata in modo permanente l'evoluzione degli usi del suolo dall'ottocento ai giorni nostri; la scelta di un'area già inserita in tale progetto permette di affiancare ai dati paesaggistici e a quelli sulle condizioni socioeconomiche, anche dei dati sull'utilizzo dell'energia in ambito agricolo. Inoltre il territorio comunale di Castagneto Carducci può essere considerato rappresentativo di importanti dinamiche socioeconomiche che hanno caratterizzato alcune zone della Toscana, che non hanno visto l'abbandono dell'agricoltura come esito finale, ma piuttosto lo sviluppo di una potente industria vitivinicola, accompagnato da una rapida urbanizzazione delle zone pianeggianti e da un fortissimo sviluppo turistico. In questo modello evolutivo il paesaggio agricolo gioca un ruolo fondamentale dal punto di vista economico, mentre il bosco si colloca in una posizione centrale per l'equilibrio ambientale e paesaggistico.

Nello studio non è stato solamente realizzato un bilancio energetico del sistema ecologico attuale, ma è stato realizzato un confronto storico, così da poter fare considerazioni sull'evoluzione dell'impiego di energia, sulla scorta del lavoro svolto per la realizzazione del quadro conoscitivo delle risorse paesaggistiche per il piano strutturale comunale (Agnoletti 2009). Le date scelte sono le stesse su cui si è basato lo studio del paesaggio: il 1832, il 1954 e l'attualità. Il 1832 è la data ufficiale di pubblicazione del Catasto Leopoldino, mentre il 1954 è la data di un volo aereo su tutto il territorio nazionale che ha fornito una delle ultime immagini del paesaggio rurale tradizionale. I dati attuali, dove non indicato diversamente, si riferiscono al 2002.

L'importanza di soglie storiche va inoltre ricercata nella particolarità dei diversi, e significativi, momenti storici considerati, che danno luogo a differenti sistemi agro-silvo-pastorali. Nel 1832 siamo nel periodo appena successivo alle bonifiche che interessarono parte della costa toscana, e troviamo un sistema agricolo tradizionale; nel 1954 ci troviamo negli anni del boom economico successivo alla seconda guerra mondiale, che portò l'agricoltura italiana ad un livello pre-industriale, cercando di aumentarne la produttività tramite l'intensivizzazione e la meccanizzazione; oggi troviamo un territorio che conserva un forte legame con le attività agricole, orientate verso la ricerca di un prodotto di qualità, sempre con l'ausilio delle tecnologie disponibili.

**Fig. 1** - Localizzazione e confini comunali dell'area di studio (foto satellitare tratta da <http://www.pcn.minambiente.it/>).



### L'area di studio

L'area di studio (Fig. 1) è il territorio comunale di Castagneto Carducci, situato sulla costa toscana; tale comune si trova in Provincia di Livorno, e dista dal capoluogo circa 57 km. Presenta una linea di costa di 14 km, e un'altitudine media di 188 m s.l.m., con presenza di rilievi collinari nella parte interna. Su tali colline, a 194 m s.l.m., si trova il centro abitato più importante, Castagneto capoluogo. Le altre frazioni del comune sono: Donoratico, Bolgheri e Marina di Castagneto. L'estensione totale è pari a 14205.25 ettari.

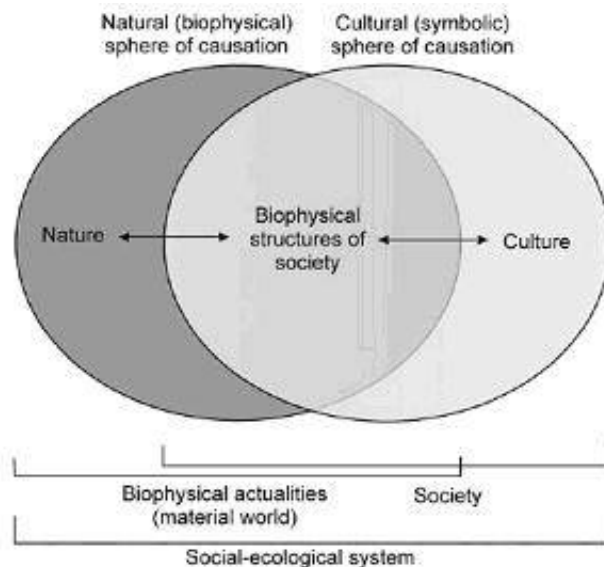
Il clima è di tipo mediterraneo, e secondo la classificazione fitoclimatica del Pavari (De Philippis 1937) l'area è ascrivibile alla sottozona calda del *Lauretum*, con una vegetazione che passa dalla macchia litoranea a pinete artificiali, fino a boschi di sclerofille sempreverdi nelle zone più elevate.

Osservando il territorio dall'alto si possono individuare tre fasce principali. Una prima fascia comprende la zona litoranea e la pineta retrostante, fino alla strada statale Aurelia SS1 che attraversa il territorio comunale da nord a sud. La vegetazione è costituita da una pineta artificiale di *Pinus pinea* L. (di età media di circa 80 anni) quasi ininterrotta lungo tutta la costa, con alcuni relitti di popolamenti autoctoni di bosco planiziario; il sottobosco delle pinete è costi-

tuito da latifoglie mediterranee, il che potrebbe portare ad una successione in favore di un bosco misto di latifoglie, cambiando radicalmente il paesaggio, come in parte rilevato anche dalla *Carta della vegetazione forestale potenziale* (Mondino 1998). La seconda fascia è oggetto di numerose colture specializzate, soprattutto vigneti, ed ha un territorio prevalentemente pianeggiante; è la zona più antropizzata, dove è situato l'abitato di Donoratico. La terza fascia è quella collinare, dominata dal bosco ceduo di latifoglie, spesso abbandonato, da forteti, formazioni molto dense a prevalenza di leccio con presenza di altre specie mediterranee (fillirea, cisti, lentisco, erica arborea, mirto, corbezzolo, orniello) e da piccoli appezzamenti coltivati a vigneto e oliveto in vicinanza dei due abitati di Bolgheri e Castagneto.

La parte intorno al capoluogo presenta un aspetto paesaggistico complesso, legato ad un assetto proprietario frammentato, mentre i rilievi settentrionali e meridionali presentano una preponderanza della copertura arborea continua (Agnolletti 2009). La maggior parte del territorio conserva tuttora un paesaggio non modificato eccessivamente dalla costruzione di nuove infrastrutture, abitative ed industriali, grazie anche ai numerosi latifondi presenti fino al dopoguerra. Sono inoltre presenti importanti ecosistemi residui, come i relitti di bosco planiziario ed i relitti

**Fig. 2** - Rappresentazione della struttura biofisica della società (Haberl et al. 2004).



di vegetazione dunale (Provincia di Livorno 1998), alcuni dei quali conservati grazie all'Oasi di Bolgheri (istituita nel 1958 e gestita dal WWF) che si estende per 513 ettari, di cui 150 sono riportati ogni inverno allo stato di palude.

### Materiali e metodi

La sostenibilità, intesa come il poter soddisfare le necessità del presente senza compromettere la possibilità alle generazioni future di soddisfare le proprie, è una caratteristica dei sistemi socio-ecologici, sistemi in cui la sfera naturale e quella socio-economica si sovrappongono parzialmente ed in misura diversa, tramite un processo definito colonizzazione, che non è altro che la tendenza dell'uomo a trasformare i processi naturali per aumentarne l'utilità per soddisfare le proprie necessità (di spazio, di alimento, di approvvigionamento idrico,... - Haberl et al. 2004). Il sistema sociale e quello biofisico, sono stati considerati come due insiemi governati uno da leggi naturali e uno da leggi socio-culturali, che un tempo determinavano una zona di interazione definita come "struttura biofisica della società" (Fig. 2 - Haberl et al. 2004), ma che oggi tendono ad sovrapporsi interamente, visto la capacità dell'uomo di influenzare anche gli ecosistemi naturali in cui egli non è fisicamente presente, tramite le emissioni di gas serra che modificano il clima, o tramite polveri inquinanti che vengono trasportate dal vento in luoghi remoti.

La tendenza della sfera socio-economica a sovrapporsi alla sfera naturale corrisponde alla volontaria e prolungata trasformazione dei processi naturali da parte l'uomo con lo scopo di aumentare l'utilità di tali processi per la società. Tale tendenza porta alla

realizzazione dei paesaggi "culturali", definiti da Carl Sauer come paesaggi creati "a partire dal paesaggio naturale da un gruppo culturale". La cultura è l'agente, l'area naturale l'elemento, il paesaggio culturale il risultato (Sauer 1925), cioè l'uomo diviene, attraverso il suo bagaglio culturale, l'artefice delle modifiche del sistema naturale (Head 2000); i paesaggi "culturali" possono anche essere definiti come l'espressione dell'integrazione tra fattori sociali, economici e ambientali (Agnoletti 2006). Un tempo questi paesaggi erano caratteristici dei soli paesi sviluppati, e di alcune aree dei paesi in via di sviluppo, rispetto a vaste aree del mondo caratterizzate invece da paesaggi "naturali". Oggi la quota della superficie terrestre caratterizzata dall'interazione fra uomo e natura, quindi il paesaggio culturale, è in rapida crescita, anche a causa alle emissioni di gas serra che contribuiscono, modificando il clima, a influenzare anche gli ecosistemi in cui l'uomo è assente. A seconda di come si sviluppa il processo di interazione, si possono avere conseguenze diverse per la sostenibilità e per il consumo di energia. Gli studi sul metabolismo sociale si propongono di analizzare tali flussi, proprio per poter valutare se un determinato territorio (o sistema socio-ecologico) ha un "metabolismo" sostenibile in un determinato periodo storico.

Questi studi si sono sviluppati a partire dagli anni '70, prima come descrizioni delle dinamiche e dei flussi energetici, per arrivare infine ad una più recente metodologia (*Material and Energy flow account*, MEFA - Haberl et al. 2004) con la quale è possibile analizzare e misurare le interazioni tra le dinamiche sociali e gli stock biofisici, tramite un'analisi input/output. Questa metodologia si articola in due

parti principali: una parte va ad analizzare i flussi di materiali (MFA), l'altra va a realizzare un bilancio dei flussi di energia (EFA). Può essere applicata a diverse scale spaziali (una intera nazione o un'area di dimensioni più limitate) e può contribuire a valutare se un determinato sistema socio-ecologico si discosta o si avvicina alla sostenibilità, cioè ad osservarne il "progresso verso la sostenibilità". Negli ultimi anni metodi di indagine come questo, che permettono di correlare l'uso dell'energia con il sistema socio-ecologico e con il paesaggio che ne deriva, sono progressivamente aumentati, soprattutto nei paesi centro-europei (Krausmann & Haberl 2002, Haberl et al. 2003) e in Spagna (Cussò et al. 2006, González de Molina 2002), ma anche nel Regno Unito (Schandl & Schulz 2002) ed in altre parti del mondo (Singh et al. 2001). L'area oggetto dello studio deve essere considerata come un sistema chiuso, cioè il bilancio energetico deve essere riferito ad una determinata area, attraverso i cui confini si hanno comunque scambi (input e output) di materiali ed energia, e al cui interno è presente uno "stock socio-economico" (Fig. 3).

In questo studio è stato deciso di valutare i flussi energetici, in quanto possono essere messi più strettamente in relazione con le tematiche della sostenibilità ambientale e del risparmio energetico. L'obiettivo principale è quello di effettuare un "bilancio completo degli input energetici, delle trasformazioni interne all'area di studio, e degli output" (Schandl et al. 2002). I flussi energetici e di materiali possono essere classificati principalmente in input, output o come parte dello stock socio-economico.

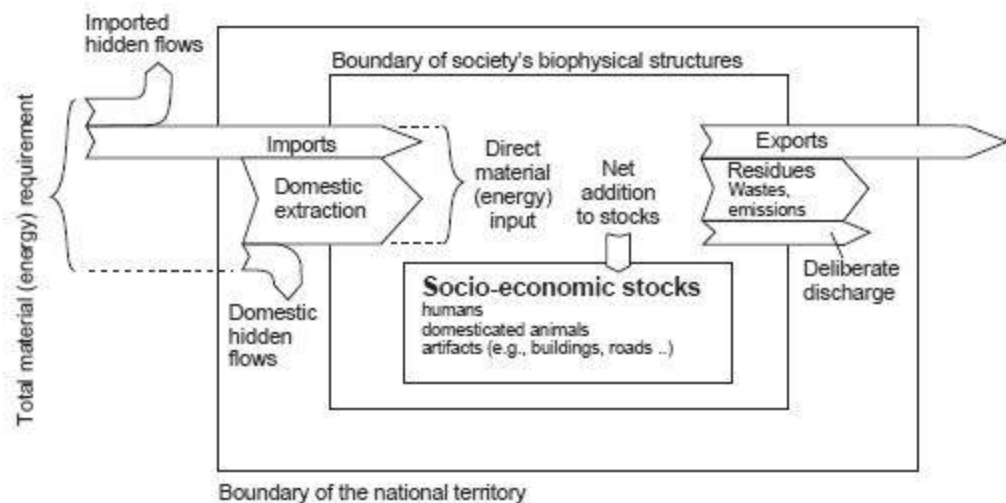
Gli input (o *direct energy inputs*, DEI) possono derivare dall'esterno (o *external inputs*, EI) o dall'interno dei confini dell'area, da risorse rinnovabili o da ri-

sorse non-rinnovabili; questa ultima distinzione è fondamentale per stabilire l'impatto ambientale del loro utilizzo. Anche i flussi nascosti, cioè l'energia che viene prodotta, ma rimane inutilizzata o viene utilizzata per altri scopi, come ad esempio i residui delle colture, devono essere valutati. Tutta l'energia che viene consumata all'interno del sistema va a costituire il cosiddetto input totale consumato (o *total input consumed*, TIC). Gli input possono essere ascritti a tre tipologie: i combustibili fossili, le biomasse, ed i materiali di origine minerale. In questo studio sono stati analizzati quelli riguardanti le biomasse, in quanto lo scopo era di realizzare un bilancio energetico delle attività agro-silvo-pastorali.

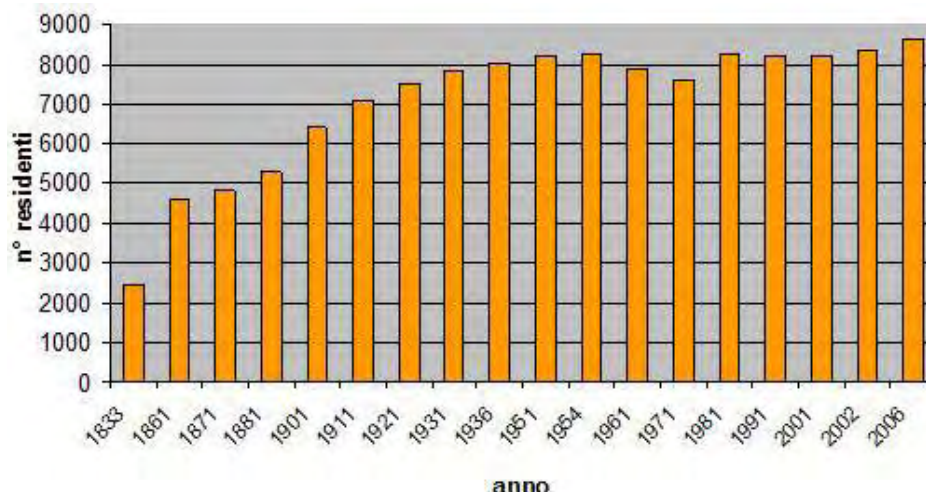
Lo stock socio-economico è costituito dall'insieme dei materiali presenti all'interno dell'area di studio. Per quanto riguarda un bilancio energetico in campo agro-silvo-pastorale, gli elementi principali sono la popolazione umana e quella di bestiame, essendo le entità principali di consumo e trasformazione di energia, mentre non viene valutata la presenza di infrastrutture.

Gli input immessi nel sistema possono aggiungersi allo stock socio-economico, o fuoriuscirne come output. Si possono distinguere diverse forme di output: i residui (rifiuti o emissioni), il materiale prodotto intenzionalmente (output finale, o FO, come i prodotti vegetali e animali), i materiali riutilizzati (Ru), e la dispersione di energia derivante dalle conversioni. Conoscendo i valori di input consumato, di quello rimesso in circolo, e dell'output finale, si può calcolare il bilancio finale e valutare la sostenibilità energetica di un determinato sistema. Il bilancio energetico permette infatti di valutare l'efficienza, o l'inefficienza, di un sistema socio-ecologico (e quindi

**Fig. 3** - Schema semplificato per l'analisi MEFA dei flussi di materiali e di energia (Haberl et al. 2004).



**Fig. 4** - Andamento della popolazione residente nel comune di Castagneto dal 1833 ai giorni nostri.



se il paesaggio che ne deriva è sostenibile o meno), valutando la quantità di energia prodotta per ogni input di energia consumata.

#### *Il calcolo del bilancio energetico*

Per calcolare il bilancio energetico finale, i cui valori sono riportati successivamente nel paragrafo "Il bilancio energetico finale", si deve innanzitutto calcolare l'output totale (TO), dato dalla somma tra l'energia di conversione agro-silvo-pastorale ed i prodotti di origine animale, i quali comprendono i prodotti per l'uomo, il lavoro e il concime animale. L'energia di conversione agro-silvo-pastorale consiste nella quantità di energia solare che viene resa disponibile dalla fotosintesi come biomassa vegetale, a seconda del tipo di vegetazione che si trova sul terreno, e quindi a seconda dell'uso del suolo. Poi viene calcolato l'input totale consumato (TIC), come:  $TIC = Ru - IS + LI + EI$ . Ru indica i materiali riutilizzati totali (semi, concime vegetale ed animale, lavoro animale, e alimento per gli animali prodotto all'interno dell'area di studio); IS indica i "servizi interni", cioè il concime e il lavoro animale. LI è il lavoro umano, che fa invece parte degli input energetici. EI corrisponde all'energia importata dall'esterno dell'area di studio. Dividendo il prodotto finale (FO) per l'input totale consumato (TIC), si ricava quante unità di output si ottengono per ogni input utilizzato (FO/TIC).

#### *Le unità di misura impiegate*

Le unità di misura adottate fanno tutte parte del Sistema Internazionale. Per l'energia è stato usato il joule (J), ed i suoi multipli, come il kilojoule ( $1\text{ kJ} = 10^3\text{ J}$ ), il megajoule ( $1\text{ MJ} = 10^6\text{ J}$ ), il gigajoule ( $1\text{ GJ} = 10^9\text{ J}$ ), e il terajoule ( $1\text{ TJ} = 10^{12}\text{ J}$ ). Altre unità di misura, come le kilocalorie (kcal), sono state convertite in joule ( $1\text{ kcal} = 4186.8\text{ J}$ ).

#### *Le fonti utilizzate*

Per quanto riguarda il 1832 e il 1954 si è fatto riferimento al Catasto Leopoldino del 1832 e all'Archivio Storico Comunale di Castagneto Carducci.

I dati riferiti all'attualità dei vari fattori presi in esame per la realizzazione del bilancio energetico, sono stati in buona parte desunti dal 5° Censimento generale dell'agricoltura, redatto dall'ISTAT e relativo al 2000. I censimenti ISTAT sull'agricoltura, effettuati ogni dieci anni a partire dal 1961, sono tra i pochi documenti che riportano i dati a livello comunale.

I dati sulla popolazione residente sono ricavati dai censimenti effettuati periodicamente dall'ISTAT e dall'Ufficio Anagrafe del Comune di Castagneto Carducci.

Per quanto riguarda i dati relativi agli usi del suolo, si è fatto riferimento a precedenti lavori eseguiti all'interno del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali Forestali (DISTAF), dell'Università di Firenze (Agnoletti & Paoletti 2006). Altre informazioni sono state prese da fonti bibliografiche, citate nel testo ogni volta che se ne fa riferimento.

#### **Fattori analizzati per la realizzazione del bilancio energetico**

Per realizzare un bilancio energetico completo, è necessario prendere in esame quanti più fattori possibile, in modo da avere dati che forniscono un quadro esaustivo riguardo alle molteplici attività legate al settore primario, svolte sul territorio. Di seguito vengono trattati brevemente i principali fattori presi in esame dall'analisi energetica.

#### *Popolazione residente e ore di lavoro annue*

La popolazione residente è parte dello stock socio-economico, ed è fondamentale in quanto responsabi-

**Tab. 1** - Lavoro annuo all'interno del territorio comunale nei tre periodi storici.

Anno	Giornate lavorative popolazione/anno	MJ/giornata lavorativa	Lavoro umano/anno (TJ)
1832	141132	3.6	0.51
1954	165180	2.2	0.36
2002	101470	1.8	0.18

le di un grosso consumo di energia e di una trasformazione di questa in lavoro.

Secondo i dati conservati nell'archivio storico di Castagneto Carducci, i residenti nel territorio comunale nel 1833 erano 2476. Il censimento successivo più vicino è datato 1861 e conta 4613 abitanti (Cantini 1969, Ufficio Anagrafe del Comune di Castagneto Carducci). Osservando l'andamento generale della popolazione nel comune (Fig. 4), sembra improbabile che in soli 30 anni gli abitanti raddoppino, ma ciò è dovuto all'effetto delle bonifiche (istituite formalmente solo nel 1875 con la legge "per la bonifica maremmana", ma avviate nel 1828) che fecero aumentare le terre coltivabili e che diedero luogo ad un rapido incremento demografico e all'immigrazione dall'esterno del comune. Nel 1954 i residenti erano 8259, nel 2002 erano aumentati a 8364, e secondo l'ultimo censimento effettuato a fine 2006 dall'ISTAT erano 8618.

La densità della popolazione nel 1832 è di 17.4 abitanti/km<sup>2</sup>, leggermente superiore al valore medio della Maremma negli stessi anni che era di 12 abitanti/km<sup>2</sup> (Biagioli 1976). Nel 1954 era di 58 abitanti/km<sup>2</sup> e nel 2002 di 60.5 abitanti/km<sup>2</sup>.

Per calcolare il contributo energetico del lavoro umano in ambito agricolo (Tab. 1) è stata presa la media di giorni lavorativi annui distribuiti sul totale della popolazione (come se tutta la popolazione lavorasse in campo agricolo); tale valore è pari a 57 giorni per il 1832 (Cussò et al. 2006), a 20 giorni per il 1954, e a 11 giorni per il 2002 (ISTAT 2000). Il calo delle giornate lavorative trova spiegazione nell'aumento dei mezzi meccanici e nello sviluppo di altri settori lavorativi (soprattutto nel settore turistico locale).

L'energia media prodotta dal lavoro umano in ambiente mediterraneo, si attesta intorno alle 860 kcal/persona/giorno (pari a 3.6 MJ/persona/giorno) nell'800, a 516 kcal/persona/giorno (2.2 MJ/persona/giorno) negli anni '50, e a 430 kcal/persona/giorno (1.8 MJ/persona/giorno) ai giorni nostri (Cussò et al.

2006). Tali valori sono calcolati come se tutta l'energia delle persone venisse usata per il lavoro agricolo e non tengono conto di tutte le altre attività svolte dall'uomo che richiedono energia.

Solo nell'800 il lavoro umano ha una effettiva importanza all'interno del sistema agro-silvo-pastorale, per di più se si tiene conto che la popolazione è circa un quarto di quella degli anni '50 e del 2002; già negli anni '50 il contributo all'energetica complessiva del sistema si era dimezzato, per divenire trascurabile nel 2002.

#### L'uso del suolo

L'analisi dell'uso del suolo risulta essere molto importante ai fini del calcolo energetico, in quanto è l'espressione esterna delle diverse attività svolte sul territorio. Per realizzare un bilancio energetico è stato necessario utilizzare delle classificazioni di uso del suolo generiche, accorpando le diverse tipologie presenti nel catasto generale toscano del 1832 e negli studi sull'evoluzione del paesaggio nel comune di Castagneto (Agnoletti 2009), a cui si rimanda per una descrizione dettagliata del paesaggio locale. Tutte le tipologie sono state raggruppate in sette classi: aree improduttive (costruzioni, arenile, strade e corsi d'acqua), aree boscate e arbusteti, pascoli e prati, seminativi, vigneti, oliveti, orti e frutteti.

I dati relativi al 1832 sono contenuti nel catasto generale toscano pubblicato nel 1832, ma in realtà i rilievi furono eseguiti precedentemente, e precisamente nel 1823; le bonifiche più intensive iniziarono nel 1828, pertanto la pianura si presentava ancora come un luogo malsano e scarsamente interessato dalle attività antropiche (Fig. 5).



**Fig. 5** - Una foto delle opere di bonifica; iniziate nel 1828, le bonifiche della Maremma fecero aumentare notevolmente le terre coltivabili e la salubrità delle coste, di conseguenza in tutta la zona si registrò un forte incremento demografico.

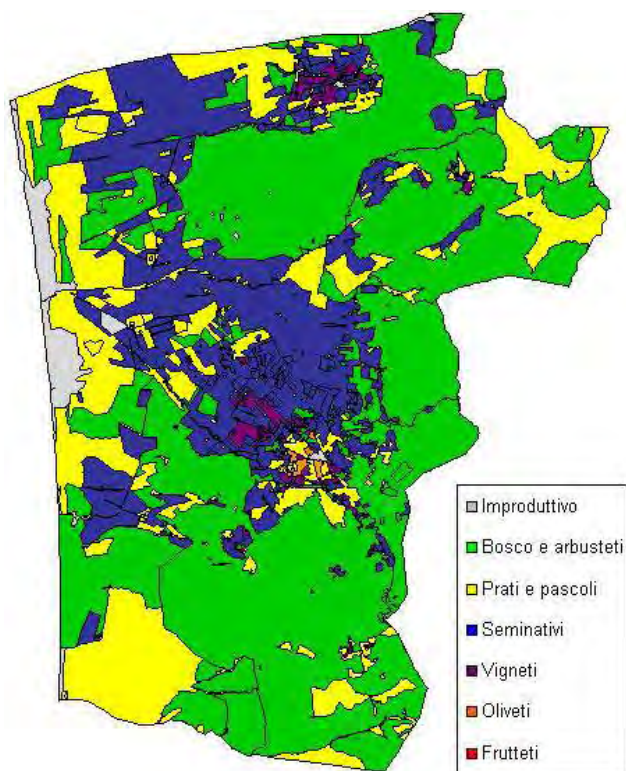


Fig. 6 - Uso del suolo nel territorio comunale nel 1832.

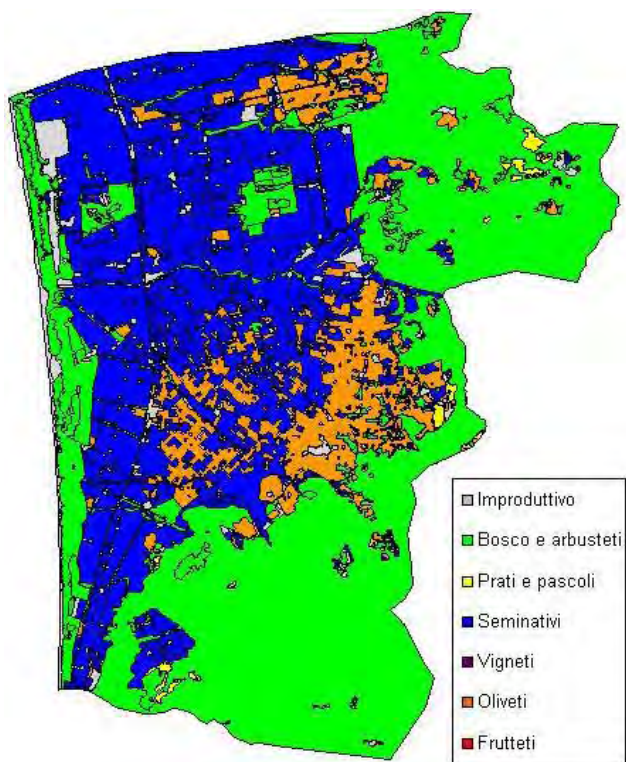


Fig. 7 - Uso del suolo nel territorio comunale nel 1954.

Secondo i dati del catasto (Fig. 6), le aree boscate e arbustate coprono più della metà (54%) del territorio comunale, seguite dai seminativi (22%) e dai pascoli e prati (21%). Non vengono registrati oliveti, mentre i vigneti sono sporadici, a quei tempi infatti olivi e viti non venivano coltivati quasi mai in monocultura, ma si trovavano in coltivazioni promiscue o in filari ai margini dei coltivi, e più in generale ogni tipo di coltura non aveva ancora una connotazione intensiva.

La zona pianeggiante si trovava ancora in parte da bonificare, e di conseguenza le colture erano situate principalmente nelle zone intorno agli abitati di Castagneto e Bolgheri, sotto forma di piccoli appezzamenti mezzadrili. La vite invece, anche se in monocultura copre solo l'1% del territorio comunale, è già un elemento caratterizzante il paesaggio locale, essendo ampiamente coltivata in colture promiscue, e la sua introduzione in questa parte della Maremma avvenne per opera dei Della Gherardesca già a metà '700. A quel tempo tale famiglia risultava essere proprietaria di quasi tutti i terreni di Castagneto, e sicuramente una delle più influenti nella vita politica toscana, tanto che per tutto il '700 e l'800 si assistette a forti contrasti tra la famiglia e gli abitanti di Castagneto, a causa della volontà dei Della Gherardesca di limitare gli usi civici. Le attività agricole risultano essere ben sviluppate, tanto che l'agricoltura a Castagneto "può dirsi fra le più avanzate di tutte le comunità della Maremma toscana" (Repetti 1843).

Tra le aree boscate o arbustate è da tener presente la diffusione dei castagneti da frutto (estesi in purezza su 120 ettari), particolarmente importanti per l'economia locale ma in rapido declino, e quella delle sughere, utilizzate per la raccolta del sughero (Bortolotti 1976). I boschi erano governati sia a ceduo che a fustaia, anche se non si hanno indicazioni precise riguardo a quanti ettari fossero destinati all'uno o all'altro (Repetti 1843, Biagioli 1976), probabilmente i due tipi di governo erano equamente diffusi. La pineta costiera fu piantata più tardi, tra il 1837 e il 1840, per volere delle famiglie Della Gherardesca e Serristori, con funzione protettiva nei confronti del vento "salato" che soffiava dal mare. In tutte le formazioni boschive era pratica comune il pascolo, come in gran parte della Toscana e dell'Italia, anche se qui era particolarmente importante il pascolo delle bufale vista la presenza di zone acquitrinose. Le zone improduttive o antropizzate erano, ad eccezione dell'arenile, molto contenute.

Anche nel 1954 (Fig. 7) il paesaggio è dominato dalle aree boscate o arbustate (48%). La quasi totalità



del bosco (il 78%) è governata a ceduo, per la produzione di carbone, mentre i castagneti da frutto sono ormai scomparsi (Agnoletti 2009). Il bosco vede una forte diminuzione di superficie in pianura, dovuta all'espansione delle aree coltivate, bilanciata dai rimboschimenti di pino sul litorale e dalle successioni secondarie avviate sui pascoli e sui prati collinari abbandonati, ed ormai limitati all'1% del territorio comunale. Dall'800 è avvenuta infatti una forte trasformazione nella struttura del paesaggio, in cui l'azienda agricola si è spostata dalla collina alla pianura bonificata, con un uguale scambio nella posizione delle superficie boscate dalla pianura alla collina, a testimonianza di come i processi socioeconomici siano di gran lunga i maggiori fattori di cambiamento nel paesaggio italiano in epoca storica. Le tipologie di aree boscate principali sono gli impianti di conifere (504 ha), il bosco misto di latifoglie e conifere (399 ha), e le formazioni riparali (157 ha), mentre le fustie di latifoglie occupano solo 66 ha.

La zona pianeggiante è ormai completamente colonizzata, ed è occupata da seminativi (35% del territorio comunale), e da oliveti (11%), i quali sono concentrati nelle zone collinari, in particolare intorno agli abitati di Castagneto e Bolgheri. Scompaiono quasi totalmente i vigneti (solo 7.8 ha) e non vengono segnalati frutteti o orti. I vigneti, che oggi sono un elemento fondamentale del paesaggio locale, dopo essere scomparsi a causa della crisi degli anni '20 e del regime fascista che spingeva per la produzione cerealicola, furono reintrodotti solo nel 1952, per questo nel '54 erano ancora diffusi in modo sporadico. La zona pianeggiante presenta inoltre una forte urbanizzazione. Rispetto al 1832 si è assistito ad una intensivizzazione delle attività agricole, e ad una forte semplificazione paesaggistica.

Il paesaggio attuale (Fig. 8) vede relativamente pochi cambiamenti nei confronti degli anni '50, infatti l'80% del territorio non ha subito modificazioni negli usi del suolo principali (Agnoletti 2009). Le aree boscate sono localizzate ancora in collina o nella fascia costiera, dove si trova la pineta storica ormai minacciata dalla rinnovazione naturale di leccio e destinata alla scomparsa. I boschi collinari sono in parte costituiti da forteti e in parte da cedui abbandonati. Nonostante il forte sviluppo turistico-balneare e agriturismo, che ha interessato Castagneto si riscontra ancora oggi una forte connotazione agro-forestale del territorio, tanto che il 40% di questo è interessato da attività agricole. Le superfici dei prati e dei pascoli (5%) sono leggermente aumentate rispetto agli anni '50, non si tratta però dei pascoli collinari ottocente-

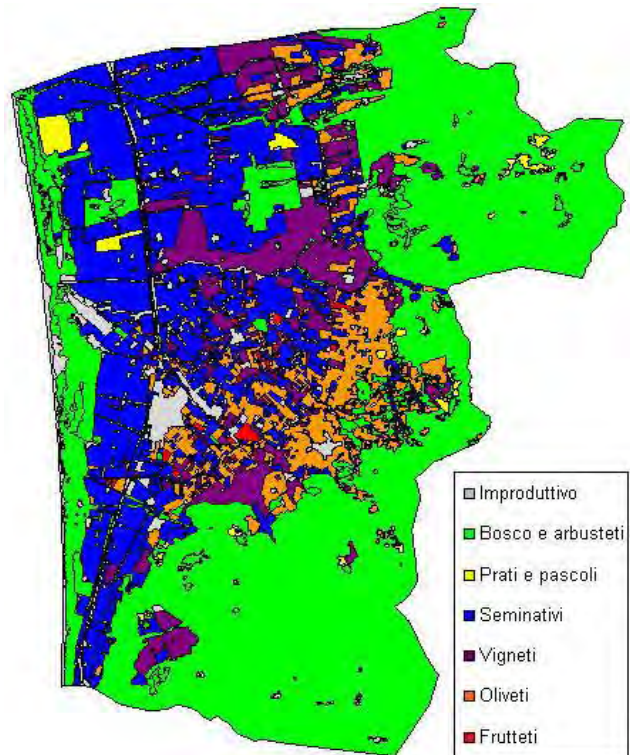


Fig. 8 - Uso del suolo nel territorio comunale nel 2002.

sch, ma di aree localizzate prevalentemente in pianura. Le zone coltivate sono quasi tutte costituite da colture intensive di pianura e meccanizzate. I seminativi sono ancora la classe colturale più diffusa (21% del territorio comunale), seguita dagli oliveti e dai vigneti (entrambi diffusi sul 9%). Mentre gli oliveti si sono ridotti dagli anni '50 ad oggi in favore della diffusione dei vigneti specializzati. Tale coltura si è imposta a partire dagli anni '70, ed è arrivata a caratterizzare profondamente il paesaggio castagnetano, anche se il suo legame con queste terre risale a metà '700, quando fu introdotta dai Della Gherardesca nella loro fattoria a scopo sperimentale. Si tratta ormai di monoculture industriali che in struttura accorpata raggiungono anche 225 ha di estensione. Sono inoltre presenti alcuni elementi di pregio paesaggistico, come alcuni residui di colture promiscue o di tessere paesaggistiche non troppo estese che rendono meno omogeneo il paesaggio, alcune piante monumentali e le alberature lungo le strade e i margini dei campi, le residue formazioni dunali e quelle riparali (Agnoletti 2009).

Le variazioni maggiori di uso del suolo (Fig. 9) sono avvenute nel periodo dal 1832 al 1954, e riguardano soprattutto le classi dei vigneti, degli oliveti, e dei pascoli. I vigneti, poco diffusi nel 1832 e dopo essere quasi scomparsi nel 1954, sono dagli anni '70 in

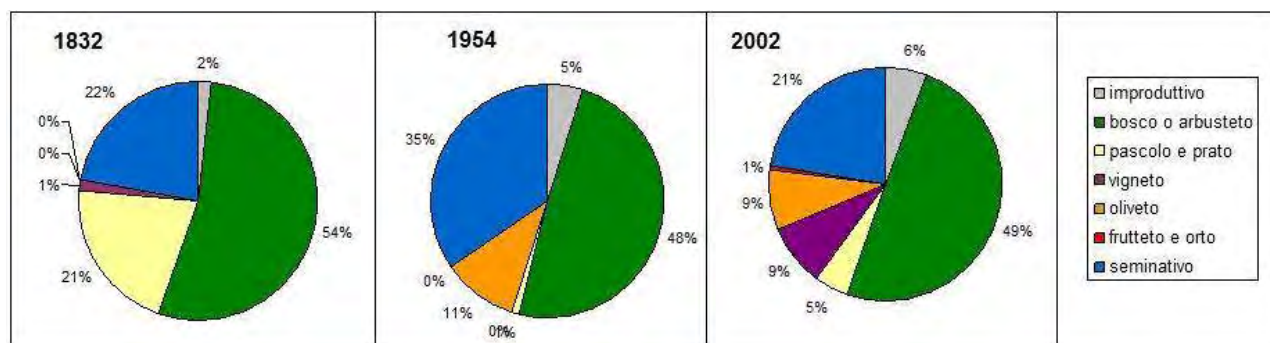


Fig. 9 - Percentuali delle categorie di uso del suolo nei tre periodi considerati.

forte espansione; gli oliveti, poco diffusi nell'800, crescono molto agli inizi del XX secolo, mentre dagli anni '50 ad oggi sono diminuiti soprattutto come coltura promiscua. I prati e i pascoli sono fortemente diminuiti nel periodo 1832-1954, l'aumento di superficie che si registra dagli anni '50 ad oggi è legato all'abbandono di alcuni coltivi, e solo in minima parte all'allevamento, non più di bovini ed ovini, ma di cavalli, attualmente impiegati in attività turistico-ricreative.

#### Bestiame: quantità e destinazione d'uso

Il bestiame è parte dello stock socio-economico dell'area di studio, ma gli aspetti da considerare in termini energetici sono molteplici. Gli animali devono essere considerati "convertitori d'energia", in quanto capaci di trasformare l'energia proveniente dal pascolo, in altri tipi di energia (forza-lavoro, concimi, carne, latte,...).

Le statistiche relative al 1832 (Repetti 1843) indicano solo i capi stanziali di pecore e di cavalli presenti nelle tenute dei Della Gherardesca; tenendo però conto che i terreni della famiglia occupavano quasi tutti i terreni produttivi, questi valori possono essere considerati valori assoluti. Per il 1832 non vengono riportati ulteriori dati per gli altri tipi di bestiame, è stato quindi necessario effettuare delle stime, basandosi su dati storici di comuni limitrofi o su fonti bibliografiche.

I dati relativi al 1954 sono ricavati dall'Archivio storico del Comune (Postunitario, LII, 38, Statistiche consistenza bestiame anni 1939-1957), tranne che per i conigli e per gli avicoli, per i quali sono state effettuate delle stime. Si può notare che il rapporto tra transumanti e stanziali nel 1954 era di 0.7 mentre nel 1832 era di 0.2: la transumanza veniva praticata maggiormente nel '54, anche se in pochi anni scomparve del tutto.

Tab. 2 - Quantità di bestiame e input investiti nelle conversioni animali, per gli anni 1832, 1954 e 2002.

Tipologia	1832		1954		2002	GJ/ capo/anno	GJ tot/anno		
	Stanziali	Non stanziali	Stanziali	Non stanziali			1832	1954	2002
Vacche e vitelli									
Altri bovini (tori, buoi)	792	-	1335	-	434	38.2	30254	100619	16579
Cavalli	200	-	151	-					
Asini		-	82	-					
Altri equini (muli, bardotti)	120	-	9	-	275	38.2	12224	9244	10505
Conigli	1238	-	1376	-	616	0.6	743	826	370
Avicoli	1238	-	8259	-	3093	0.6	743	4955	1856
Suini	1238	-	1038	-	37	8.4	10399	8719	311
Struzzi	-	-	-	-	235	-	-	-	-
Pecore	1500	300	893	617					
Capre	-	-	15	3	38	6.1	10686	7760	232
Altri ovini (montoni)	90	18	40	24					
<b>Totale</b>	<b>6416</b>	<b>318</b>	<b>14497</b>	<b>644</b>	<b>4728</b>	<b>Totale (TJ)</b>	<b>65</b>	<b>132.1</b>	<b>29.9</b>

**Tab. 3** - Quantità di bestiame dedita al lavoro, ed energia fornita nei tre periodi storici considerati.

Tipologia	1832		1954		2002		MJ capo <sup>-1</sup> ora <sup>-1</sup>	tot GJ anno <sup>-1</sup>		
	capi da lavoro	ore lavoro anno <sup>-1</sup>	capi da lavoro	ore lavoro anno <sup>-1</sup>	capi da lavoro	ore lavoro anno <sup>-1</sup>		1832	1954	2002
Bovini	634	1800	527	1500	43	1200	1.8804	2146	1486	97
Equini	288	1800	194	1500	27	1200	1.3431	696	391	44
<i>Totale</i>	922	-	721	-	70	-	<i>Totale TJ</i>	2.84	1.88	0.14

Dai valori assoluti delle quantità di capi di bestiame (Tab. 2) emerge che dal 1954 al 2002 questi sono più che dimezzati, mentre sembra che nell'800, contrariamente a ogni previsione, non fossero poi molti; si deve però considerare che nel 1832 anche la popolazione era molto poca: calcolando il numero di capi di bestiame per ogni abitante, si passa da 2.6 capi/persona per il 1832, a 1.8 per il 1954, a 0.5 per il 2002; appare chiaro come l'importanza dell'allevamento nell'economia locale cala vistosamente dall'800 ai giorni nostri.

Il fattore energetico principale riguardo al bestiame è l'alimentazione animale, o, più precisamente, la quantità di inputs investiti nelle conversioni animali (Tab. 2), calcolati sulla base di valori di letteratura (Cussò et al. 2006). Tali input vengono poi convertiti principalmente in tre tipi di prodotti: concimi di origine animale, forza-lavoro, prodotti finali destinati al consumo umano (carne, latte, uova e lana), di cui i primi due vanno a far parte dei materiali riutilizzati. Per l'allevamento degli struzzi, comunque limitato, non è stato possibile quantificare il consumo di energia, poiché tale attività è molto recente, ed è quindi ancora poco studiata.

Oltre alla produzione di alimento, gli animali, so-

prattutto in passato, avevano un ruolo molto importante nel fornire forza-lavoro per le attività agricole, ma non tutti avevano questo compito, solo parte dei bovini e degli equini aiutavano in numerose attività, tra cui l'aratura e il trasporto. Le stime dei capi utilizzati come forza lavoro sono state effettuate sulla base di dati bibliografici (Krausmann & Haberl 2002, Cussò et al. 2006).

Nel 1832 i capi utilizzati come forza-lavoro (Tab. 3) comprendevano il 90% degli equini e l'80% dei bovini; queste percentuali iniziarono a diminuire con l'avvento della meccanizzazione, e negli anni '50 si attestavano su valori dell'80% per gli equini e del 20% per i bovini, i quali erano stati convertiti in gran numero alla sola produzione alimentare. Oggi il lavoro animale è trascurabile dal punto di vista dell'apporto energetico: i bovini servono per la produzione di latte e carne, mentre gli equini sono utilizzati in maneggi e in attività agrituristiche; è stato stimato che solo il 10% degli equini e dei bovini possano contribuire attivamente nei lavori agricoli, e probabilmente anche queste percentuali sovrastimano il reale contributo della forza-lavoro animale.

Le quantità di energia prodotte dal lavoro animale, così come le informazioni sulle ore lavorative, sono

**Tab. 4** - Produzioni vegetali e prodotto finale per il consumo umano.

Prodotto agricolo	1832		1954		2002		MJ kg <sup>-1</sup>	TJ anno <sup>-1</sup>		
	ettari	kg/ha	ettari	kg ha <sup>-1</sup>	ettari	kg ha <sup>-1</sup>		1832	1954	2002
Cereali o leguminose	3132	830	4923	1260	3300	3231	12.71	33	78.8	135.5
Olio (l)	25.17	196	1516	294	1253	387	37.01	0.2	16.5	18
Vino (l)	174	1345	7.8	2690	1260	4552	3.27	0.8	0.1	18.8
Frutta e ortaggi	-	-	-	-	77.19	4787	3.14	-	-	1.2
Totale TJ	-	-	-	-	-	-	-	34	95.4	173.4
Semi	-	-	-	-	-	-	-	3.4	9.5	17.4
Foraggio da coltivi	-	-	-	-	-	-	3.55	-	1.1	1.9
Prodotto agricolo finale per il consumo umano (TJ)	-	-	-	-	-	-	-	30.6	84.8	154

state prese dalla letteratura (Cussò et al. 2006).

#### *Prodotti di origine vegetale, animale e materiali riutilizzati*

Gli alimenti vegetali destinati al consumo umano e a quello animale sono parte integrante del processo di conversione da energia primaria a energia finale, e proprio l'alimentazione animale assorbe gran parte della biomassa disponibile, con un rapporto energetico sfavorevole: ogni 100 unità energetiche consumate dagli animali, solo 13 vengono restituite sotto forma di lavoro, concime naturale o prodotti alimentari (Cussò et al. 2006).

Per calcolare quanto prodotto vegetale è disponibile per l'uomo (Tab. 4) vanno sottratte alla produzione agricola netta, la quantità di foraggio proveniente dai coltivi (stimata come il 5% della produzione dei seminativi) e quella dei semi (pari al 10% dell'energia totale delle produzioni agricole) che vengono messi da parte e riutilizzati l'anno successivo (Cussò et al. 2006). Infatti una parte dei coltivi può essere destinata alla produzione di foraggio, ed ogni attività agricola produce degli scarti che possono essere impiegati come alimento animale. Ciò che influisce sulla produzione non è tanto la superficie utilizzata, quanto la produttività ad ettaro.

I prodotti di origine animale sono la carne, il latte, la lana e le uova (Tab. 5). Le produttività per le diverse specie sono state ricavate da fonti bibliografiche (Brittante et al. 1993) e da comunicazioni orali, mentre i valori energetici sono stati presi da tabelle

specifiche (González de Molina & Guezmán Casado 2006, Cussò et al. 2006).

Per quanto riguarda la produzione di carne, gli equini e gli ovini non sono stati inclusi nel calcolo, poiché in questa zona della Maremma non sono allevati per la produzione di carne. Non avendo a disposizione dati precisi sul numero di capi riproduttori, è stato deciso di destinare il 50% dei capi alla produzione di carne. La produttività per ogni capo è stata mantenuta costante nei tre periodi: questa zona infatti non è mai stata interessata dall'uso di razze specializzate per la produzione di carne.

Al contrario, la produzione di latte per ogni capo è cambiata con il progredire delle tecniche di allevamento. Per il latte vaccino è passata da 3000 kg/anno/capo nel 1832, a 5000 kg nel 1954 e a 6000 kg nel 2002; per il latte ovino è passata da 80 kg/anno/capo nel 1832, a 130 kg nel 1954 e a 160 kg nel 2002. I valori energetici del latte vaccino e di quello ovino differiscono in quanto hanno diverso contenuto di sostanza organica (rispettivamente dell'11% e dell'17.5% per ogni litro).

Gli ovini in uso a Castagneto non appartengono a razze specializzate per la produzione di lana, inoltre oggi questo sottoprodotto dell'allevamento, al contrario di quanto accadeva nel 1832 e nel 1954, non viene più utilizzato o commercializzato, ma viene interrato come concime naturale, andando quindi a far parte dei materiali riutilizzati e non del prodotto finale.

Una gallina ovaia produce in media 180 uova

**Tab. 5** - Prodotti di origine animale e valori energetici, per i diversi anni.

Prodotto di origine animale	Categoria	numero capi			kg o uova anno <sup>-1</sup> capo <sup>-1</sup>	MJ kg <sup>-1</sup>	TJ tot		
		1832	1954	2002			1832	1954	2002
Carne	Bovini	396	1317	217	200	8.37	0.663	2.206	0.363
	Conigli	1114	1238	554	60	4.17	0.279	0.31	0.139
	Avicoli	619	4129	1546	1	8.16	0.005	0.034	0.013
	Struzzi			235	35	8.16			0.067
	Suini	1238	1038	37	80	12.14	1.203	1.008	0.036
Totale	-	-	-	-	-	-	2.15	3.56	0.58
Latte	Bovini	198	658	108	3000-5000- 6000	2.9	1.723	9.541	1.879
	Ovini	1500	1270	38	80-130-160	4.4	0.528	0.726	0.027
Totale	-	-	-	-	-	-	2.25	10.26	1.9
Lana	-	1749	1253	38	2	16.7	0.058	0.042	0.001
Uova	-	619	4129	1546	180	0.29	0.032	0.216	0.089
Totale	-	-	-	-	-	-	0.09	0.26	0.09
Prodotti finali di origine animale per il consumo umano (Totale TJ)		-	-	-	-	-	4.5	14.1	2.6

Tab. 6 - Costi energetici dell'utilizzo di mezzi meccanici agricoli nel 1954 e nel 2002.

Tipologia		1954			2002			TJ tot	
		quantità	ore lavoro anno <sup>-1</sup>	MJ ora <sup>-1</sup>	quantità	ore lavoro anno <sup>-1</sup>	MJ ora <sup>-1</sup>	1954	2002
Manutenzione	Trattrici	55	800	51	693	500	125	2.244	43.3125
	Motocoltivatori	-	-	-	267	350	25	-	2.33625
	Mietitrebbiatrici	-	-	-	12	100	125	-	0.15
Totale		55			972	Totale TJ		2.2	45.8
Consumo carburante	Trattrici	55	800	380	693	500	760	16.72	263.34
	Motocoltivatori	-	-	-	267	350	160	-	14.952
	Mietitrebbiatrici	-	-	-	12	100	760	-	0.912
Totale TJ		-	-	-	-	-	-	16.72	279.2

l'anno.

Osservando la quantità di prodotti finali di origine animale destinati al consumo umano (Tab. 5), si nota come ai giorni nostri l'attività zootecnica a Castagneto sia in forte riduzione, mentre negli anni '50 aveva una certa importanza, così come nel 1832, anche se dalla tabella non risulta evidente: bisogna infatti considerare che la popolazione nell'800 era un quarto rispetto a quella del 1954 e del 2002.

#### *La meccanizzazione agraria: macchinari e carburanti impiegati*

I primi macchinari agricoli furono introdotti a Castagneto già a partire dagli anni '20 (Bortolotti 1976), ma per avere un vero sviluppo della meccanizzazione bisogna attendere gli anni '50. Nel secondo dopoguerra la Maremma era una delle zone toscane dove la meccanizzazione era più sviluppata: oltre a essere favorita dal territorio prevalentemente pianeggiante, stava anche scomparendo la mezzadria, che sarebbe stata di ostacolo al processo di pre-industrializzazione dell'agricoltura (Giorgi 1955). Ma il processo di meccanizzazione incontrò anche alcune resistenze dovute ai contrasti tra possidenti e mezzadri, e al costo delle macchine stesse che spesso le rendeva economicamente poco vantaggiose in coltivazioni di piccole dimensioni. In questi anni l'aumento della meccanizzazione spostò parte della manodopera dall'agricoltura all'allevamento, contribuendo a spiegare le elevate quantità di bestiame presenti a Castagneto nel 1954.

Non si hanno dati precisi riguardo al numero delle trattrici presenti a Castagneto nel 1954, ma basandosi su fonti bibliografiche si ritiene che un valore di 55 trattrici sia veritiero (Tab. 6). A Castagneto le colture si trovavano nella zona pianeggiante, dove si utilizzavano trattrici con una potenza intorno ai 50 CV

(Giorgi 1955, Leach 1976 in Naredo & Campos 1980), mentre oggi la potenza media delle trattrici si aggira sui 100 CV. Il valore di 55 trattrici porta ad avere una potenza di 0.56 CV/ha, in linea con quanto riportato in letteratura dove si parla di 0.6 CV/ha. Nel 1954 non si impiegavano mezzi specializzati, come motocoltivatori o mietitrebbiatrici, ma trattrici che trainavano una barra trebbiatrice, e comunque i mezzi erano adoperati soprattutto per il trasporto e solo in piccola parte per le lavorazioni.

Il consumo di energia per la manutenzione e l'uso di olio per il motore di mezzi di 50 CV di potenza è di 51 MJ per ogni ora di utilizzo (Leach 1976 in Naredo & Campos 1980), mentre per i macchinari di potenza pari a 100 CV è di 125 MJ/ora (González de Molina & Guezmán Casado 2006). I motocoltivatori hanno una potenza minore, intorno ai 15 kW (20.5 CV), con un consumo energetico di circa 25 MJ/ora.

In Maremma le ore annue di impiego negli anni '50 erano intorno alle 800 (Giorgi 1955). Ai giorni nostri il numero di ore annue di impiego delle trattrici è diminuito, poiché oggi i mezzi sono specializzati, ognuno è adatto a svolgere un preciso lavoro. Il numero delle ore di impiego dei motocoltivatori e delle mietitrebbiatrici è inferiore a quello delle trattrici, entrambi svolgono infatti compiti più specifici per cui vengono utilizzati solo in certe lavorazioni.

Il consumo di carburante viene stimato in circa 0.19 l/CV/ora (González de Molina & Guezmán Casado 2006); il contenuto energetico del gasolio è pari a 40 MJ/l (Naredo & Campos 1980).

Dalla tabella si osserva chiaramente come la presenza di mezzi meccanici sul territorio comunale sia molto più elevata attualmente, rispetto a quanto accadeva nel 1954; oggi si ha una media di 0.17 mezzi agricoli per ogni ettaro coltivato, mentre nel '54 si trovavano solo 0.009 mezzi/ha.

Anche in termini energetici, i costi della manutenzione e, soprattutto, del consumo di carburante crescono in modo deciso nel passare dal dopoguerra, all'attualità.

### Concimi e pesticidi

I concimi svolgono un ruolo molto importante nel ripristinare, o conservare, la fertilità del terreno, soprattutto nelle coltivazioni di tipo intensivo, e possono essere divisi in due gruppi principali a seconda della loro origine: quelli di origine naturale e quelli di origine chimica. I primi non sono da considerarsi come inputs energetici esterni, ma come sottoprodotti dello stock socio-economico che vengono riutilizzati all'interno del sistema agricolo.

Per l'energia fornita dai concimi di origine vegetale è stato ricavato un valore corrispondente allo 0.6% dell'energia dei prodotti dei prati e dei pascoli (Cussò et al. 2006); tale valore porta ad un contributo energetico praticamente trascurabile, ma comunque considerato nel bilancio finale.

Per i concimi di origine animale (Tab. 7) si è fatto riferimento ai valori energetici riportati in letteratura (Cussò et al. 2006). Per quanto riguarda la coltivazione di cereali in ambiente mediterraneo, in Catalogna nella seconda metà dell'800 è stato calcolato un valore che ammonta a 2.845 kg/ha (Cussò et al. 2006), molto simile ai 3.000 kg/ha calcolati per Castagneto. Per gli anni '50 e il 2002 i valori medi sono inferiori a causa dell'introduzione dei concimi chimici, e si aggirano tra i 2.000 e i 4.000 kg/ha (Giardini 2002), in linea con quanto calcolato per Castagneto, dove si

hanno rispettivamente valori di circa 4.100 e 1.300 kg/ha.

I concimi chimici (Tab. 7) svolgono oggi un ruolo fondamentale in campo agricolo, senza di essi infatti non si potrebbero mai raggiungere le attuali produttività. D'altra parte uno sfruttamento così intenso dei terreni ne pregiudica spesso la fertilità, che deve essere ripristinata con sostanze chimiche, creando un circolo vizioso di dipendenza dai concimi (Gliessman 2000), "l'equilibrio naturale è stato precedentemente sconvolto a causa di tecniche avanzate, così che la terra è diventata tale da non poter più fare a meno di loro" (Fukuoka 1980). Gli elementi chimici utilizzati sono l'azoto (N) il fosforo (come  $P_2O_5$ ) ed il potassio (come  $K_2O$ ). Per questi tipi di concime è stato considerato un apporto energetico, comprensivo del costo energetico del processo produttivo, di 80 MJ per l'azoto, 14 MJ per il fosforo e 9 MJ per il potassio, per ogni kg di elemento puro (Leach 1976 in Naredo & Campos 1980).

Oltre ai concimi, anche i pesticidi e gli erbicidi (Tab. 7) trovano un uso sempre maggiore nelle coltivazioni. Il loro valore energetico, comprensivo del costo energetico di produzione, è pari a 410 MJ per ogni kg di materia attiva (Fluk 1992 in González de Molina & Guezmán Casado 2006).

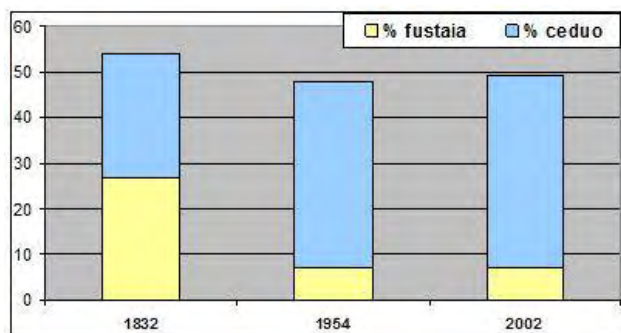
Per semplificare, il calcolo dell'utilizzo dei concimi e dei pesticidi è stato fatto solo sugli ettari di seminativi, anche se vengono ampiamente utilizzati anche nelle altre colture. Come si nota dalla Tab. 8, gli ettari sono di più nel 1954, mentre il valore energetico totale del 2002 è più del doppio. Ciò è dovuto alle

**Tab. 7** - Valori energetici dell'impiego di concimi e di pesticidi. I concimi di origine animale non sono input importati dall'esterno, ma materiale prodotto dallo stock locale e poi riutilizzato.

Tipologia	numero capi			Kg capo <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>	MJ Kg <sup>-1</sup>	TJ tot			
	1832	1954	2002			1832	1954	2002	
Concimi di origine animale	Equini	320	242	275	5500	0.659	1.16	0.88	1.00
	Bovini	792	2634	434	6500	0.3349	1.72	5.73	0.94
	Ovini	1749	1270	38	231	0.7921	0.32	0.23	0.01
	Suini	1238	1038	37	1450	0.4626	0.83	0.70	0.02
Totale		4099	5184	784	Totale TJ		4.03	7.54	1.97

Tipologia	1954		2002		MJ kg <sup>-1</sup>	TJ tot		
	ha	kg ha <sup>-1</sup>	ha	kg ha <sup>-1</sup>		-	1954	2002
Concimi chimici	azoto	4923.03	25	3299.93	80	80	9.85	21.12
	potassio	4923.03	5	3299.93	30	9	0.22	0.89
	fosforo	4923.03	20	3299.93	50	14	1.38	2.31
Erbicidi e pesticidi		4923.03	0.5	3299.93	2	410	1.01	2.71
Totale TJ		-	-	-	-	-	12.46	27.03



**Fig. 10** - Percentuale dei boschi governati a ceduo e di quelli governati a fustaia, sul totale della superficie comunale.

quantità impiegate ad ettaro, che ai giorni nostri sono aumentate moltissimo a causa del dilagare delle colture intensive.

#### *Il ruolo delle aree boscate*

Il bosco nei tre periodi analizzati ha mantenuto pressoché inalterata la sua superficie totale, anche se ha visto trasformare le proprie caratteristiche gestionali ed anche la propria distribuzione all'interno del paesaggio. Le aree boscate forniscono un importante contributo in termini di bilancio energetico, migliorando l'efficienza energetica del sistema agro-forestale, in quanto rendono disponibile un certo prodotto (sotto forma di legna, frasche, frutti,...) senza bisogno di apporto di energia da parte dell'uomo (se si escludono operazioni colturali, le quali comunque, in termini energetici, sono di limitata importanza); inoltre secondo alcuni studi, le fustaie producono una massa epigea doppia rispetto al ceduo di provenienza (Bourgenot 1977), per cui queste avrebbero un migliore effetto rispetto al ceduo sul bilancio energetico. Vale quindi la pena ricordare come sia profondamente cambiata la gestione del patrimonio forestale locale (Fig. 10): se nel 1832 la maggior parte, o comunque circa la metà, del bosco veniva governata a fustaia, con il novecento tale rapporto è invertito,

per cui nel 1954 solo il 15% della superficie boscata è governata a fustaia, e nel 2002 tale percentuale è calata al 14.5%. Inoltre, la quasi totalità delle fustaie è costituita dalle pinete litoranee, le quali, mancando la rinnovazione di pino domestico, si trovano in una fase di transizione a favore di un sottobosco di latifoglie mediterranee, soprattutto leccio. Nonostante non sia possibile valutare in modo più approfondito l'efficienza energetica dei due diversi tipi di governo, risulta chiaro come le fustaie assumano un'importanza maggiore.

## **Risultati**

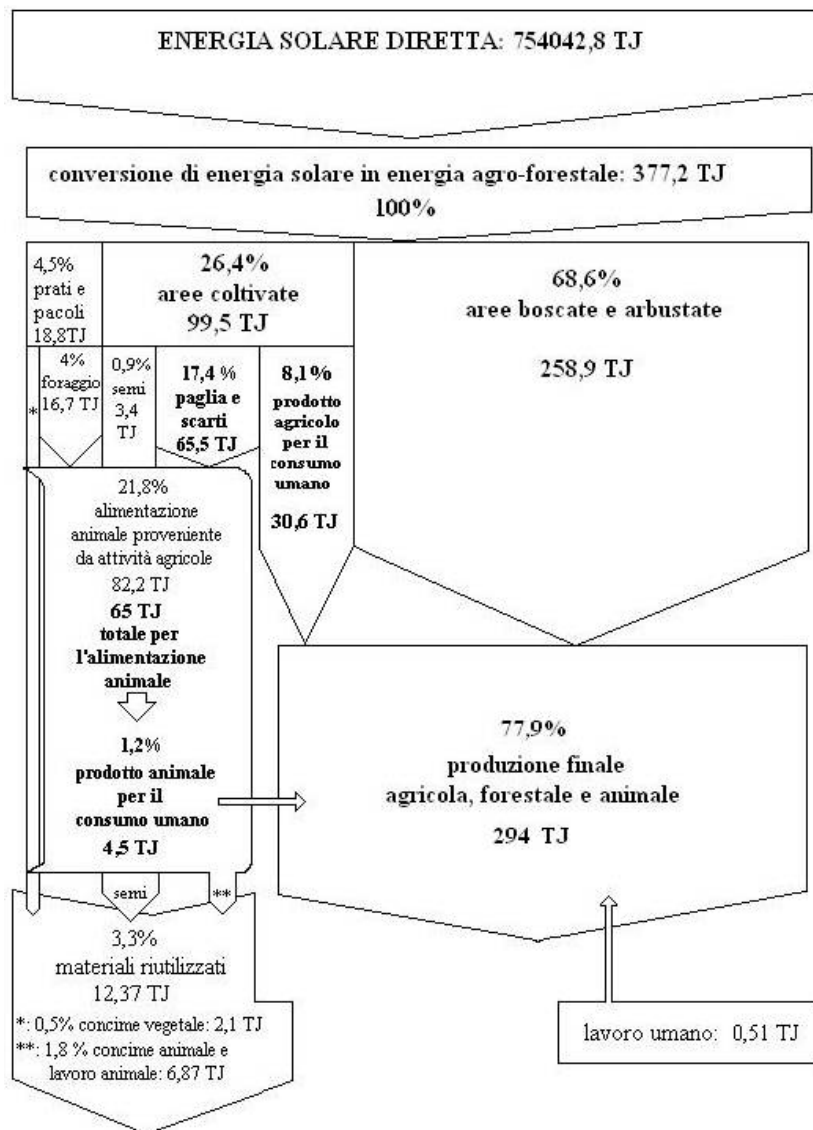
### *Energia solare diretta e output energetico primario*

L'input energetico principale consiste nell'energia solare, che, tramite la fotosintesi, viene poi trasformata e accumulata dalle piante in altri tipi di energia, rendendola disponibile per l'uomo e per gli animali; l'energia solare diretta è quantificata in 54.4 TJ/ha (Cussò et al. 2006). Poiché la superficie produttiva a Castagneto si mantiene costante nei tre periodi considerati, anche l'energia solare diretta mantiene costante il suo valore, intorno a 750.000 TJ/anno. L'energia proveniente dal sole, è poi convertita, a seconda dei diversi tipi di uso del suolo, nell'output energetico primario.

Dai diversi tipi di uso del suolo è stata calcolata l'energia resa disponibile dalla conversione agro-silvo-pastorale (o *primary energy output* - Tab. 8), derivante dalla conversione in biomassa dell'energia solare irradiata in un anno sui terreni produttivi; questa dipende, oltre che dalla quantità di energia solare, anche dai diversi usi del suolo, dalle produttività medie per ettaro e dai valori energetici a queste assegnate (Cussò et al. 2006, Naredo & Campos 1980). I valori totali di conversione agro-forestale nei diversi periodi storici non variano in modo significativo; sono invece ben visibili le variazioni dovute alle diverse estensioni delle categorie di uso del suolo dei coltivi e dei pascoli nei diversi anni.

**Tab. 8** - Conversione di energia solare in energia agro-forestale, per i diversi usi del suolo e valori totali, nei tre periodi storici considerati.

Classe UDS	Ettari			Kg prodotto ha <sup>-1</sup>	MJ/kg	TJ output ha <sup>-1</sup>		
	1832	1954	2002			1832	1954	2002
bosco o arbusteto	7527.7	6948.04	7295.96	3022.12	11.38	258.9	239	250.9
pascolo e prato	2998.49	99.61	701.93	1737	3.61	18.8	0.6	4.4
coltivi	3334.89	6447.26	5890.34	4075.5	7.32	99.5	192.3	175.7
Totale	-	-	-	-	-	377.2	431.9	431



**Fig. 11** - Schema riassuntivo dei flussi energetici del 1832.

### La situazione nel 1832

Il sistema agro-zootecnico di Castagneto Carducci nel 1832 (Fig. 11) è un tipico esempio di una zona rurale interessata da un'agricoltura e un allevamento tradizionale, dove non sono presenti inputs esterni, dove si assiste ad uno stretto rapporto tra le attività umane e la terra. La parte fondante l'economia castagnetana è l'allevamento, basato sugli ampi pascoli e prati, che coprono il 21% del territorio; su questi terreni vengono tenuti moltissimi ovini per la produzione di latte e di lana, mentre i bovini sono pochi ed usati per lo più per i lavori agricoli, così come gli equini. Proprio il lavoro animale risulta basilare per i trasporti e per permettere le lavorazioni nei campi, nei quali vengono coltivati cereali e leguminose.

La produzione finale agricola, zootecnica e forestale è un dato importante, ma bisogna considerare principalmente quella di origine agro-zootecnica, in

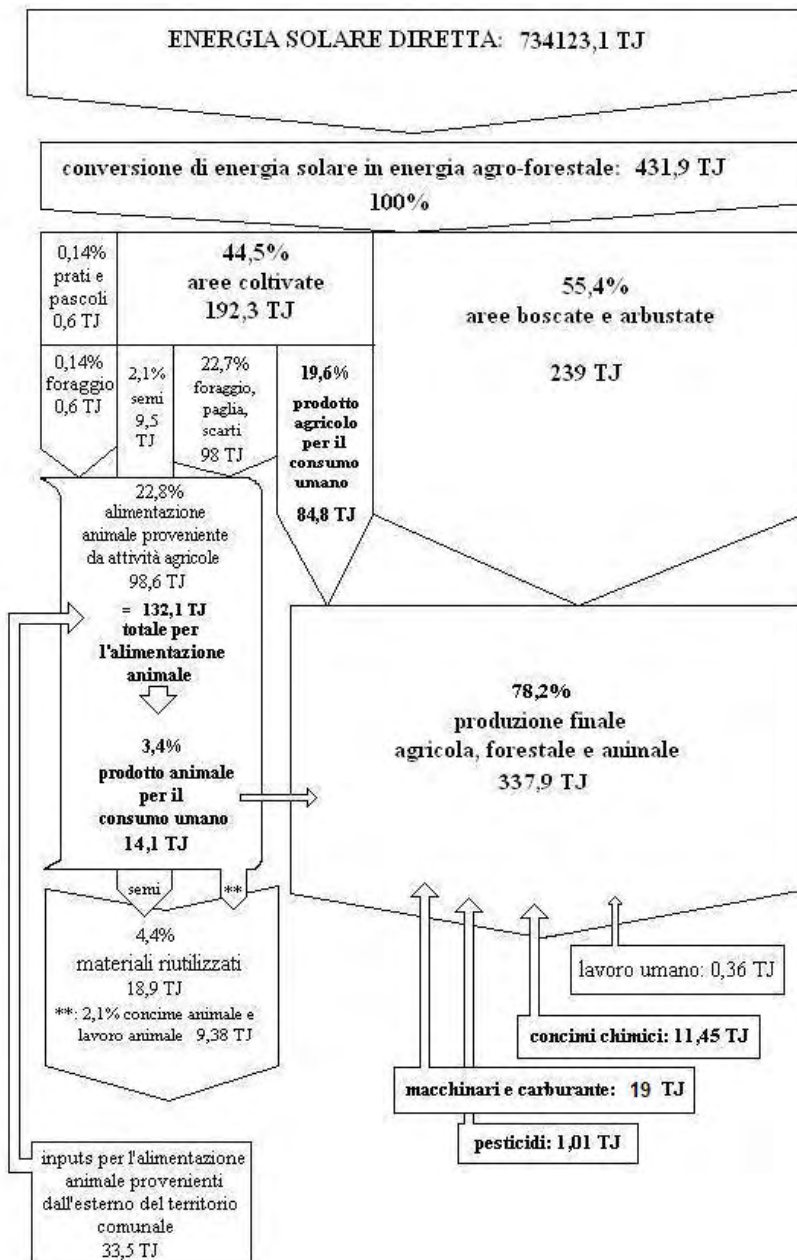
quanto l'energia derivante dalle aree boscate dipende esclusivamente dalla loro superficie, e non necessita di altri inputs se non dell'energia solare. La produzione agro-zootecnica finale è di 35.1 TJ, e parte da un'energia di circa 118 TJ. L'output di origine animale (prodotti per il consumo umano, lavoro e concime animale) è invece di 11.4 TJ, con un input pari a 65 TJ: il rapporto input/output è di 0.17.

Il rimettere in circolo il 3.3% dell'energia derivante dalla conversione agro-forestale dell'energia solare, sotto forma di materiali riutilizzati, permette di non dipendere da inputs esterni. Anche la quantità di energia dispersa dalle conversioni risulta contenuta, attestandosi sul 18% dell'energia primaria di partenza.

### La situazione nel 1954

Gli anni '50 (Fig. 12) sono gli anni dello sviluppo





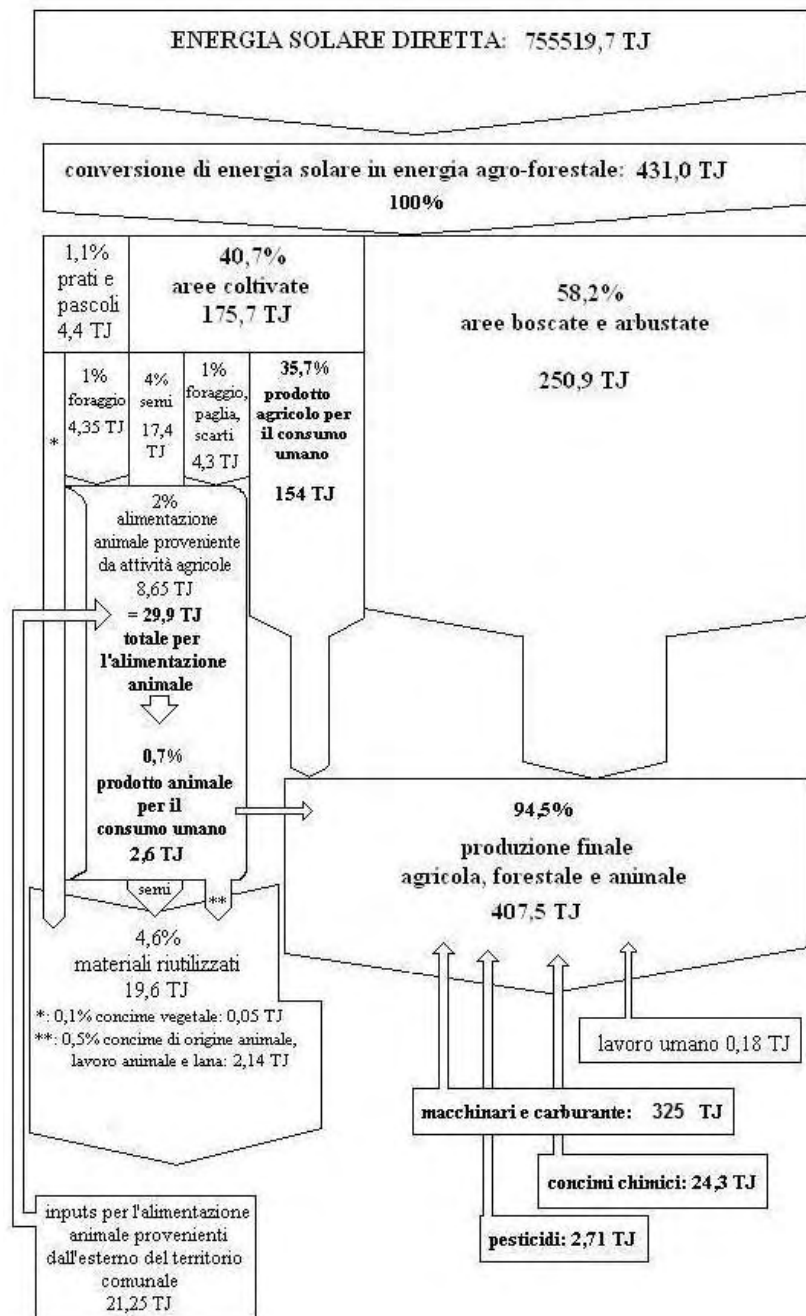
**Fig. 12** - Schema riassuntivo dei flussi energetici del 1954.

verso sistemi agricoli più meccanizzati, dove si cerca di aumentare le produttività con l'ausilio di nuovi prodotti, come i pesticidi e i concimi chimici. Proprio questi nuovi input, provenienti dall'esterno del territorio, sono la prima differenza riscontrabile rispetto al 1832. Nel 1954 le attività principali erano le coltivazioni cerealicole, spesso di tipo intensivo, nelle zone pianeggianti, e la zootecnia moderna soprattutto di bovini, con animali allevati al chiuso e non all'aperto sui pascoli, che infatti erano quasi scomparsi. L'outputs per i prodotti zootecnici è di 23,5 TJ, e necessita di input per un valore pari a 132 TJ, di cui il 25% importati dall'esterno del comune.

La produzione finale agricola, forestale ed animale

è di 337,9 TJ, pari al 78,2% dell'energia di conversione agro-silvo-pastorale, ma la maggior parte dell'energia finale è contenuta nei prodotti del bosco, e solo 98,9 TJ provengono dalle attività agro-zootecniche, che partivano da una disponibilità di energia pari a 194 TJ. Bisogna però considerare i numerosi input provenienti dall'esterno del comune, che ammontano a 64,96 TJ, costituiti principalmente dall'alimento necessario per gli animali allevati (per il 53%), dai mezzi meccanici e dai carburanti (27%), dai concimi chimici (19%) e dai pesticidi. A questi inputs, si dovrebbe aggiungere anche l'energia elettrica ed il costo energetico di produzione dei macchinari, che farebbero aumentare molto la quantità di energia im-

Fig. 13 - Schema riassuntivo dei flussi energetici del 2002.



piegata, diminuendo la sostenibilità del sistema agricolo locale.

#### La situazione nel 2002

La produzione finale agro-forestale per l'anno 2002 (Fig. 13) risulta essere pari a 407,5 TJ (circa il 94,5% dell'energia di conversione agro-silvo-pastorale di partenza), un valore molto elevato, ma bisogna considerare che la maggior parte di questa energia è fornita da terreni boscati, e non da prodotti agricoli e zootecnici, che sono solo una piccola parte.

L'output per i prodotti zootecnici è di 4,7 TJ e necessita di inputs alimentari per un valore pari a 29,9

TJ, in parte importati dall'esterno del comune.

La produzione agro-zootecnica finale è di 156,6 TJ e parte da un'energia di circa 180,1 TJ. Da questi dati sembra quasi che ci sia un ottimo rapporto input/output, ma bisogna attentamente considerare gli input che provengono dall'esterno del comune (373,4 TJ), che in soli 50 anni sono cresciuti del 520%. Gli input importati comprendono i prodotti per l'alimentazione animale, i concimi chimici ed i pesticidi, ma è soprattutto l'uso di mezzi agricoli e di carburanti (325 TJ) che rende la produzione agro-zootecnica castagnetana dipendente dall'energia esterna e dal petrolio. Infatti nel 1954 i mezzi meccanici e i carbu-

ranti costituivano il 27% degli inputs esterni, una percentuale già significativa, ma non certo elevata come quella attuale, che arriva all'86%. Come per il 1954 i valori energetici non tengono conto del costo di produzione dei macchinari e del consumo dell'energia elettrica.

#### *La quantità di prodotto finale pro capite*

I valori illustrati fino ad ora sono valori assoluti, cioè non tengono conto del fatto che la popolazione residente nel comune è diversa nei tre periodi storici. Il prodotto finale, per quanto importante, assume tutt'altro significato se viene posto in relazione con il numero di abitanti, in modo da ottenere la disponibilità annua *pro capite* dei prodotti finali agro-zootecnici (Tab. 9).

Nel 1832 il prodotto *pro capite* risulta essere di 14.2 GJ/anno, mentre in letteratura, per l'800, si trovano valori di sussistenza pari a 3.65 GJ/anno (Krausmann & Haberl 2002), quindi la produzione agro-zootecnica locale superava di circa 26.2 TJ il livello di sussistenza. A quel tempo infatti le attività agricole della zona vengono indicate come le più avanzate di tutta la Maremma (Repetti 1843). Se invece si considera il valore della popolazione del 1861 la quantità di prodotto *pro capite* è di 7.6 GJ/anno.

Per il 1954 il consumo *pro capite* di prodotti agro-zootecnici è di 12 GJ/anno, mentre il valore di riferimento è pari a 4.2 GJ/anno; anche in questo caso la produzione locale eccede il fabbisogno, e la conferma viene da numerosi documenti che parlano di esportazioni di prodotti animali, soprattutto avicoli e ovini (Bortolotti 1976).

Il consumo *pro capite* di energia per il 2002 è di 18.7 GJ/anno, un valore molto più elevato delle 3000 kcal al giorno (circa 4.6 GJ/anno) raccomandate ai giorni nostri (Krausmann & Haberl 2002); il *surplus* è quantificabile in circa 117 TJ. Infatti i prodotti di spicco del comparto agricolo, l'olio e il vino, sono di altissima qualità, con un mercato che si spinge ben oltre i confini comunali.

#### *Il bilancio energetico finale*

Seguendo la metodologia illustrata sopra, è stato calcolato il bilancio energetico finale, cioè la quantità di energia prodotta per ogni unità di input immesso nel sistema, per i tre diversi periodi storici di riferimento.

Nel 1832 (Tab. 10) il rapporto FO/TIC totale è di 4.1 il che significa che per ogni input immesso nel sistema si ottengono circa 4 unità di output, in prodotti finali. È interessante calcolare lo stesso rapporto

(FO/TIC) per i soli prodotti agro-zootecnici, il quale assume un valore di 0.5. Il bilancio risulta quindi essere passivo, si spende più energia di quanta se ne ricava. Questo emerge osservando anche i valori energetici a persona riportati nella stessa tabella, in quanto ognuno aveva a disposizione 14.2 GJ di prodotti agricoli e animali, ma con un costo di 28.7 GJ a persona.

Nel 1954 (Tab. 10) il rapporto tra prodotto finale agricolo, forestale e animale (FO) e il totale di input consumato (TIC) è di 1.9 la metà circa di quanto si aveva per il 1832, il che significa che per ogni input immesso nel sistema si ottengono poco meno di 2 unità di output, in prodotti finali, mentre lo stesso rapporto relativo ai soli prodotti agro-zootecnici è di 0.57. Questo valore è molto simile a quello relativo al 1832, ad indicare che l'efficienza energetica si mantiene stabile. Si può quindi affermare che, sebbene sia aumentata l'intensivizzazione agricola e zootecnica, l'efficienza energetica complessiva non sembra averne risentito. Ciò accade perché i numerosi input importati dall'esterno del comune sono controbilanciati da un aumento proporzionale della produttività; inoltre la meccanizzazione agricola non è ancora molto elevata, e questo mantiene l'utilizzo di carburanti a livelli accettabili.

Nel 2002 (Tab. 10) la situazione energetica risulta molto cambiata. Il rapporto FO/TIC complessivo è di 1.02 e rispetto all'800 e agli anni '50 mostra come l'efficienza energetica stia progressivamente diminuendo. Analizzando solo la produzione agro-zootecnica, il rapporto FO/TIC scende a 0.42; dalla tabella si nota chiaramente che non è tanto il valore dei prodotti finali (FO) a persona ad essere cambiato rispetto al 1954, ma è quello del totale di input consumato (TIC), ed in particolare quello relativo agli input esterni a persona (EI), di cui la maggior parte è costituita dai carburanti.

I valori *pro capite* relativi al 1832 possono essere confrontati con quelli del 1861 di Castagneto e con quelli del 1869 della regione della Catalogna, in Spagna (Tab. 11 - Cussò et al. 2006). I valori a persona di input totale consumato (TIC) e di prodotti finali agro-zootecnici (FO) per il 1861, sono solo indicativi, poiché sono stati calcolati basandosi sulla produzione del 1832, ma in appena 29 anni la quantità di prodotti finali e di input consumati non doveva essere poi cambiata molto. Si vuole infatti mostrare quale poteva essere la situazione relativa ad un periodo in cui gli effetti delle bonifiche si possono ormai considerare conclusi, e in cui la densità di popolazione era un po' più alta (32.5 abitanti/km<sup>2</sup>, contro i 17.4 del

**Tab. 9** - Consumo pro capite dei prodotti agro-zootecnici per tre i diversi anni.

Anno	Prodotti vegetali (TJ)	Prodotti animali (TJ)	Prodotto agro-zootecnico finale (TJ)	Residenti	GJ/anno/persona
1832	30.6	4.5	35.1	2476	14.2
1861	30.6	4.5	35.1	4613	7.6
1954	84.8	14.1	98.9	8259	12.0
2002	154	2.6	156.6	8364	18.7

**Tab. 10** - Bilancio energetico complessivo, agro-zootecnico, e agricolo dei tre periodi storici considerati.

Bilancio	Voce	1832		1954		2002	
		TJ anno <sup>-1</sup>	GJ pers. <sup>-1</sup>	TJ anno <sup>-1</sup>	GJ pers. <sup>-1</sup>	TJ anno <sup>-1</sup>	GJ pers. <sup>-1</sup>
Complessivo	Conversione agro-silvo-pastorale	377.2	-	431.9	-	431	-
	Prodotti animali (carne, lavoro, concime)	11.37	-	23.48	-	4.74	-
	Output totale (TO)	388.57	-	455.38	-	435.74	-
	Materiali riutilizzati totali (Ru)	77.37	-	117.5	-	28.25	-
	Servizi interni (IS=concime e lavoro animale)	6.87	-	9.38	-	2.14	-
	Lavoro umano (LI)	0.51	-	0.36	-	0.18	-
	Inputs esterni (EI)	-	-	64.96	-	373.4	-
	Input totale consumato (TIC=Ru-IS+LI+EI)	71.01	-	173.44	-	399.7	-
	Prodotti finali (FO)	294	-	337.9	-	407.5	-
Bilancio energetico finale (FO/TIC)	4.1	-	1.9	-	1.02	-	
Agro-zootecnico	Conversione agro-pastorale	118.3	-	192.9	-	180.1	-
	Prodotti animali (carne, lavoro, concime)	11.37	-	23.48	-	4.74	-
	Output totale (TO)	129.67	52.3	216.38	26.2	184.9	22.1
	Input totale consumato (TIC=Ru-IS+LI+EI)	71.01	28.7	173.44	21	399.7	47.8
	Prodotti finali agro-zootecnici (FO)	35.1	14.2	98.9	12	156.6	18.7
Bilancio energetico finale (FO/TIC)	0.5	-	0.57	-	0.42	-	
Agricolo	Materiali riutilizzati totali (Ru)	12.37	-	9.38	-	19.6	-
	Inputs esterni (EI)	0	-	31.46	-	352.01	-
	Input totale consumato (TIC=Ru+EI)	12.37	-	40.84	-	371.61	-
	Prodotti finali agricoli per l'uomo (FO)	30.6	-	84.8	-	154	-
	Ritorno di energia sull'input totale (FO/TIC)	2.5	-	2.1	-	0.41	-

1832). Come si vede dalla Tab. 11, i valori *pro capite* del 1861 sono molto più simili a quelli della Catalogna del 1869, di quanto non lo siano quelli del 1832, a conferma che i dati relativi al 1832 sono influenzati dal numero di abitanti particolarmente basso. Da ciò

**Tab. 11** - Confronto tra i valori di TIC e FO a persona, del 1832, 1861 e della Catalogna.

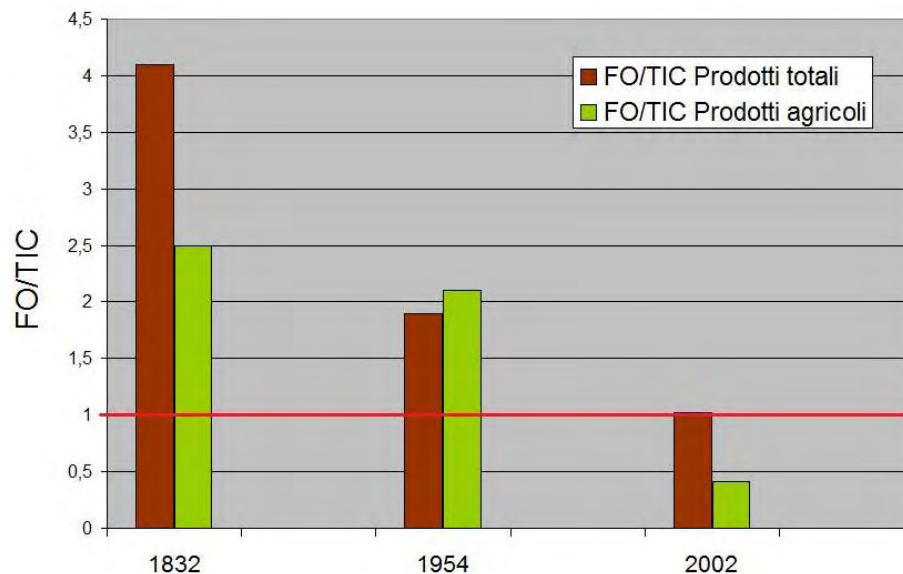
Parametri	1832	1861	Catalogna 1869
Input totale consumato (TIC)/persona	28.7	15.4	13.7
Prodotti finali agro-zootecnici (FO)/persona	14.2	7.6	5.4

si può inoltre dedurre che i due sistemi agro-zootecnici mediterranei ottocenteschi, erano molto simili non solo come impostazione e attività svolte (sono entrambi basati su pratiche tradizionali, come la transumanza), ma anche dal punto di vista energetico.

#### Confronto e commento dei bilanci energetici finali

È possibile fare alcune considerazioni sui diversi valori dei rapporti FO/TIC (Fig. 14), per i tre diversi periodi storici, sia comprensivi dei prodotti forestali, sia solo per la produzione agricola locale. Nel grafico il valore di FO/TIC corrispondente a 1 è stato marcato da una linea rossa; questo valore è il limite tra l'efficienza e l'inefficienza energetica: al di sopra si pro-

**Fig. 14** - Confronto tra i rapporti FO/TIC totali e dei prodotti agricoli per i tre periodi storici.

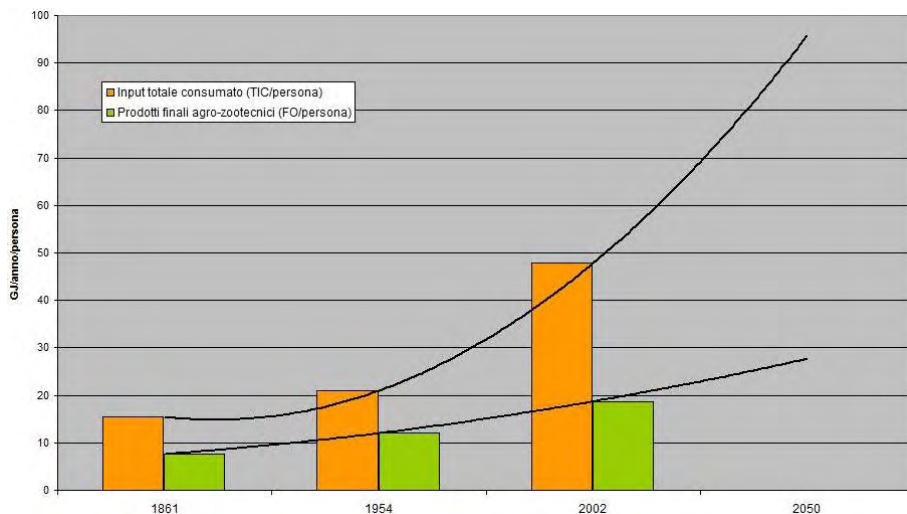


duce più di quanto si consuma, mentre sotto tale valore si consuma più energia di quanta se ne produce. I rapporti FO/TIC comprensivi dei prodotti di origine forestale si mantengono sempre sopra questo valore, anche se attualmente sono quasi al limite, mentre per i soli prodotti agricoli l'efficienza è molto minore. L'andamento dei due tipi di rapporto FO/TIC è in entrambi i casi peggiorativo, avvicinandosi sempre più all'inefficienza energetica. I valori di FO/TIC comprensivi dei prodotti di origine forestale, sono sensibilmente diminuiti dal 1832 al 2002; la spiegazione sta sia nelle quantità di input totali consumati, che nell'800 erano molto contenuti.

Riguardo al rapporto FO/TIC dei soli prodotti agricoli (Fig. 14, Tab. 10) si nota come oggi si consumi il doppio di energia di quanta se ne produca, a causa della forte meccanizzazione. Ancora una volta si ha la conferma di come l'attuale sistema agricolo di Castagneto Carducci sia inefficiente dal punto di vista

dell'impiego dell'energia; questo fatto risulta ancor più evidente, in quanto viene analizzata solo la produzione agricola, senza considerare il comparto zootecnico che come è noto ha un rapporto FO/TIC sempre sotto il livello di efficienza energetica, a causa dell'inefficienza di conversione da parte degli animali dall'energia contenuta nelle biomasse vegetali ad energia contenuta nei diversi tipi di prodotti di origine animale.

Nel grafico seguente (Fig. 15) sono riportati i valori *pro capite* di input totali consumati (TIC) e di output finali (FO) agro-zootecnici; al posto del 1832 sono stati inseriti i valori del 1861, poiché la popolazione aveva una densità più caratteristica per l'epoca. Nello stesso grafico sono stati aggiunti dei modelli di tendenza attraverso l'inserimento di linee polinomiali calcolate in automatico dal foglio di calcolo, per poter rendere più chiaro il diverso modello di accrescimento, sia della quantità di energia consumata, sia



**Fig. 15** - Confronto tra gli input consumati (TIC) e gli output agro-zootecnici (FO) pro capite per il 1861, 1954 e 2002.

della quantità di prodotti finali. Si può notare come gli output crescano in maniera lineare, mentre gli input consumati aumentino con un andamento esponenziale. Questi due diversi modelli di accrescimento e di evoluzione alterano la distanza tra i due, facendo divenire sempre più inefficiente dal punto di vista energetico la produzione agro-zootecnica locale.

La causa di questa non proporzionalità di crescita tra gli input investiti e gli output prodotti è dovuta all'elevato consumo di carburanti (l'85% delle importazioni di energia) e di concimi chimici (il 7.4%). Inoltre entrambi sono prodotti che portano un'elevata carica inquinante, sia per quanto riguarda i processi estrattivi e produttivi, che per il trasporto e le intrinseche caratteristiche chimiche, ed evidenziano una forte dipendenza dell'agricoltura moderna dai carburanti, e quindi dal petrolio.

### Conclusioni

In questo studio è stato proposto un percorso tra diversi sistemi agro-forestali, che cambiano nel corso degli anni, con il cambiare delle esigenze della società. Numerose sono le differenze che si possono riscontrare tra i diversi sistemi, sia in termini di attività svolte, sia in termini energetici.

Dal bilancio energetico finale emerge chiaramente come l'inefficienza energetica sia aumentata proporzionalmente con l'aumento della meccanizzazione, sia nell'ambito della produzione zootecnica sia in quella agraria. Al giorno d'oggi si ha infatti un consumo di carburanti e un impiego di mezzi meccanici assolutamente sproporzionato in relazione alla produzione locale. Si tende ad aumentare sempre più gli inputs energetici, senza che questo causi un proporzionale aumento delle produttività. È anzi noto che non si può comunque superare un certo livello di produttività per ettaro, nonostante si aumenti sempre più l'impiego di concimi chimici, fertilizzanti ed erbicidi; l'utilizzo di tali prodotti porta poi il terreno ad un eccessivo sfruttamento e ad una progressiva perdita di fertilità, la quale necessita di quantitativi sempre maggiori di fertilizzanti e di concimi chimici per essere ripristinata, creando un circolo vizioso di dipendenza da questi prodotti chimici, e quindi da inputs esterni al sistema agricolo locale. Oltre all'inefficienza energetica dell'agricoltura moderna, si deve considerare la dipendenza dai carburanti, e quindi dal petrolio: un'agricoltura fortemente dipendente dal petrolio porta a prodotti il cui costo sul mercato diverrà condizionato non solo dalla loro disponibilità, ma anche dal prezzo del petrolio stesso.

Studiando i sistemi agricoli legati al paesaggio tradizionale e le diverse attività che vi si svolgevano, è però possibile cercare di aumentare l'efficienza energetica del sistema rurale, tornando ad una produzione più legata ad un buon rapporto fra qualità del prodotto e qualità del paesaggio locale. Ciò non significa che si deve tornare alla situazione dell'800, ma che da quella si può imparare, comprendendo alcuni principi legati ai flussi energetici e agli ordinamenti colturali non intensivi tipici del paesaggio tradizionale. Integrando alcune pratiche agricole tradizionali con le disponibilità tecnologiche moderne e limitando l'eccessivo uso di mezzi meccanici, è possibile migliorare, o frenare, l'inefficienza energetica dell'attuale sistema rurale, anche in funzione del miglioramento del rapporto prodotto tipico-paesaggio tipico, molto più interessante della semplice produzione quantitativa non in grado di reggere la concorrenza estera.

Il problema non riguarda solo la situazione attuale, ma quella che è la tendenza evolutiva energetica; dai dati esaminati risulta evidente come si stia procedendo verso un rapporto tra input immessi e output di prodotti finali, sempre più inefficiente, cioè il rapporto FO/TIC diminuisce progressivamente, ed è già ben al di sotto dal valore pari a uno, che indica il limite tra l'efficienza e l'inefficienza energetica. Il sistema agricolo attuale di Castagneto richiede quindi moltissima energia per ottenere una produzione che supera di molto il fabbisogno locale. L'attività agricola è rivolta principalmente alla produzione enologica di alta qualità, e, in misura minore a quella di olio. Poiché la produzione di vino è l'attività che richiede sempre più input esterni, e la sua espansione continua in termini di superficie occupata, l'unico modo per contenere il bilancio energetico sembra quello di intervenire su questa attività, cercando di diminuire la meccanizzazione in favore di produttività ad ettaro leggermente meno elevate, ma più sostenibili dal punto di vista dell'impiego dell'energia; questo risparmio energetico difficilmente corrisponderà in tempi brevi ad un risparmio economico, per cui è poco probabile una riduzione degli input energetici nella viticoltura di qualità finché l'utilizzo di pratiche energeticamente efficienti non sarà considerato un valore aggiunto al prodotto.

Per quanto riguarda il ruolo del bosco, abbiamo visto che esso fornisce un importante contributo in termini di bilancio energetico, migliorando l'efficienza del sistema. Questo ruolo potrebbe essere migliorato ampliando le funzioni del bosco, oggi sostanzialmente abbandonato, se non per le utilizzazioni per

legna da ardere.

Un altro dei maggiori input di energia che devono essere importati dall'esterno riguarda l'alimento animale. La zona collinare di Castagneto presentava nell'800 numerosi pascoli e prati, poi abbandonati e colonizzati dal bosco. Recuperando parte dei pascoli utilizzati dall'allevamento ottocentesco e aprendo il bosco al pascolo, si eviterebbe di dover importare dall'esterno parte dell'alimento necessario agli animali e si svilupperebbe una zootecnia autosufficiente e anche di maggior qualità in quanto gli animali sarebbero allevati all'aperto, oltre produrre prodotti di qualità (carni, formaggi, latte ecc.) sicuri dal punto di vista alimentare. Il recupero di alcuni di questi pascoli sarebbe importante anche dal punto di vista paesaggistico, poiché creerebbe un paesaggio più diversificato anche in termini di habitat, la cui importanza risulterebbe elevata anche per la biodiversità, come dimostrano le indagini svolte in Toscana sulle dinamiche relative alla evoluzione storica della diversità del paesaggio che vede la fortissima riduzione della componente a pascolo nel computo delle *patch* che formano il mosaico paesistico (Agnoletti 2002, 2007a, 2007b). Il bosco nell'attuale struttura del paesaggio è infatti contraddistinto dalla presenza di poche unità compatte ed omogenee, che marcano un forte contrasto fra le aree agricole e quelle boscate, confermando la polarizzazione che da anni ormai contraddistingue il paesaggio agricolo e quello forestale, rispetto alla loro storica integrazione. Sebbene solo cambiamenti generalizzati che consentano ovunque pratiche agro-zootecniche ecosostenibili, possano portare effettivi miglioramenti in termini di impiego dell'energia (Fukuoka 2005), i cambiamenti che potrebbero essere messi in atto a scala locale sono molto importanti. È infatti nel frequente contrasto fra paradigmi ambientali a scala globale e la realtà locale, che oggi si collocano alcune delle maggiori difficoltà di attuazione del concetto di sostenibilità.

## Bibliografia

- Agnoletti M (2002). Il paesaggio agro-forestale italiano: strumenti per l'analisi, la gestione e la conservazione. ARSIA, Regione Toscana, Firenze.
- Agnoletti M (2006). The conservation of cultural landscapes. CAB International, Wallingford and New York, USA, pp. 267.
- Agnoletti M (2007a). Il parco del paesaggio rurale appenninico di Moscheta. Comunità Montana del Mugello. Pacini Editore, Pisa.
- Agnoletti M (2007b). The degradation of traditional landscape in a mountain area of Tuscany during the 19th and 20th centuries: Implications for biodiversity and sustainable management. *Forest Ecology and Management* 249 (1-2): 5-17. - doi: [10.1016/j.foreco.2007.05.032](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.032)
- Agnoletti M (2009). Il paesaggio come risorsa: Castagneto negli ultimi due secoli. Pacini Editore, Pisa.
- Agnoletti M, Almanza, Barbera G, La Mantia T, Nanni P, Paoletti S, Sisti A, Torquati BM (2006b). Programmazione Sviluppo Rurale 2007-2013 - Piano Strategico Nazionale. Documento tematico del Gruppo di lavoro Paesaggio. Architettura del Paesaggio, vol. 15, ISSN 1125-0259 (CD Allegato al N.15 della Rivista Architettura del Paesaggio).
- Agnoletti M, Paoletti S (2006). Il ruolo del vigneto nel paesaggio di Castagneto Carducci fra Ottocento e l'attualità. *Architettura del Paesaggio* n°15, Paysage editore.
- Agnoletti M, Paoletti S, Maggiari G (2006a). Impostazione e primi risultati dello sviluppo di un sistema di monitoraggio del paesaggio in Toscana. *Architettura del Paesaggio*, vol. 15, Paysage editore.
- Biagioli G (1976). L'agricoltura e la popolazione in Toscana all'inizio dell'Ottocento: un'indagine sul catasto particellare. Pacini Editore, Pisa.
- Bortolotti L (1976). La Maremma settentrionale, 1738-1970: storia di un territorio. Angeli Editore, Milano.
- Bourgenot L (1977). Histoire des forêts feuillues en France. *Revue Forestière Française*, Numero speciale 7-26. - doi: [10.4267/2042/21193](https://doi.org/10.4267/2042/21193)
- Brittante G, Andrighetto I, Ramanzin M (1993). Tecniche di produzione animale (Nuova edizione), Petrini Editore, Torino.
- Cantini C (1969). Terra e storia castagnetana. Impr. F. Luthi, Losanna, Svizzera.
- Cussò X, Garrabou R, Tello E (2006). Social metabolism in an agrarian region of Catalonia (Spain) in 1860-1870: flows, energy balance and land use. *Ecological Economics* 58 (1): 49-65. - doi: [10.1016/j.ecolecon.2005.05.026](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.05.026)
- De Philippis A (1937). Classificazioni ed indici del clima in rapporto alla vegetazione forestale italiana. *Nuovo Giornale Botanico Italiano* XLIV: 1-169.
- Fukuoka M (1980). La rivoluzione del filo di paglia: un'introduzione all'agricoltura naturale. Quaderni d'Ontignano, Libreria Editrice Fiorentina, Firenze.
- Fukuoka M (2005). Servire la natura. *L'Ecologist italiano* vol. 2, Libreria Editrice Fiorentina, Firenze. [online] URL: <http://www.ecologist.it/sommario02.html>
- Giardini L (2002). Agronomia generale: Ambientale e aziendale. Patron Editore, Bologna.
- Giorgi E (1955). La meccanizzazione agricola in Toscana. Osservatorio di Economia Agraria per la Toscana, Tipografia B. Coppini & C., Firenze.
- Gliessman SR (2000). Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA.

- González de Molina M (2002). Environmental constraints on agricultural growth in 19<sup>th</sup> century Granada (Southern Spain). *Ecological Economics* 41 (2): 257-270. - doi: [10.1016/S0921-8009\(02\)00030-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00030-7)
- González de Molina M, Guezmán Casado GI (2006). *Tras los pasos de la insustentabilidad*. Ed. Icaria, Barcellona, Spain.
- Haberl H, Erb KH, Krausmann F, Adensam H, Schulz NB (2003). Land-use change and socio economic metabolism in Austria-Part II: land-use scenarios for 2020. *Land Use Policy* 20 (1): 21-39. - doi: [10.1016/S0264-8377\(02\)00049-2](https://doi.org/10.1016/S0264-8377(02)00049-2)
- Haberl H, Fischer-Kowalski M, Krausmann F, Weisz H, Winiwarter V (2004). Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer. *Land Use Policy* 21(3): 199-213. - doi: [10.1016/j.landusepol.2003.10.013](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.10.013)
- Head L (2000). *Cultural Landscapes and Environmental Change*. Arnold, London, UK.
- ISTAT (2000). 5° Censimento generale dell'agricoltura: Caratteristiche strutturali delle aziende agricole. Fascicolo provinciale di Livorno, ISTAT, Roma.
- Krausmann F (2004). Milk, manure, and muscle power: livestock and the transformation of preindustrial agriculture in Central Europe. *Human Ecology* 32 (6): 735-772.
- Krausmann F, Haberl H (2002). The process of industrialization from the perspective of energetic metabolism: socioeconomic energy flows in Austria 1830-1995. *Ecological Economics* 41:177-201.
- Mondino GP (1998). Carta della vegetazione forestale potenziale. In: "Boschi e macchie di Toscana". Regione Toscana, Giunta Regionale. Edizioni regione Toscana, Firenze.
- Naredo JM, Campos P (1980). Los balances energéticos de la agricultura española. *Agricultura y Sociedad* 15: 163-256.
- Padovan D (2000). The concept of social metabolism in classical sociology. *Revista Theomai*, Red internacional de estudios sobre sociedad, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina.
- Provincia di Livorno (1998). Piano Territoriale di Coordinamento. Carta degli ambiti dunali. [online] URL: [http://www.smart.toscana.it/Documenti/Mappe\\_PDF/PT\\_C/dunale/dunale\\_c.pdf](http://www.smart.toscana.it/Documenti/Mappe_PDF/PT_C/dunale/dunale_c.pdf)
- Repetti E (1843). *Dizionario geografico fisico storico della Toscana 1833-1843*. Cassa di Risparmio di Pisa, Tipografie A. Tofani e G. Manzoni, Firenze.
- Sauer CO (1925). *The morphology of landscape*. University of California Publications in Geography 2: 19-53.
- Schandl H, Grünbühel CM, Haberl H, Weisz H (2002). *Handbook of Physical accounting: measuring bio-physical dimensions of socio-economic activities*. Institute for interdisciplinary studies of Austrian Universities (IFF), Department of Social Ecology, Vienna, Austria.
- Schandl H, Schulz N (2002). Changes in the United Kingdom's natural relations in terms of society's metabolism and land use from 1850 to the present day. *Ecological Economics* 41: 203-221. [online] URL: <http://www.euroecolecon.org/old/frontiers/Contributions/F2papers/PS40p.pdf>
- Singh SJ, Grunbuhel CM, Schandl H, Schulz N (2001). Social metabolism and labour in a local context: changing environmental relations on Trinket Island. *Population and Environment* 23 (1): 71-104. - doi: [10.1023/A:1017564309651](https://doi.org/10.1023/A:1017564309651)