

Università degli Studi della Toscana

Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse
DiSAFRi

Dottorato di Ricerca in Ecologia Forestale

XXII ciclo

**Impiego delle biomasse di scarto, dal comparto agroforestale,
per produzione di bioenergia nel territorio del
Parco Naturale Regionale di Bracciano-Martignano**

Codice alfanumerico AGR/05

Coordinatore
Prof. De Angelis Paolo

Tutor
Prof. Scarascia Mugnozza Giuseppe

Dott. Colonna Nicola

Dottoranda
Dott.ssa Croce Sara

Indice

Premessa	1
1 I cambiamenti climatici e la questione energetica	1
1.1 Effetto serra e cambiamenti climatici	1
<i>Il contesto Italiano.....</i>	<i>4</i>
1.2 Foreste e carbonio.....	8
1.3 Politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici	10
<i>Il Protocollo di Kyoto e le decisioni Europee</i>	<i>10</i>
1.4 La questione energetica	13
<i>Potenzialità delle rinnovabili in Italia.....</i>	<i>15</i>
1.5 Le biomasse come fonte rinnovabile di energia	18
<i>La disponibilità di biomassa sul territorio nazionale</i>	<i>23</i>
2 Il territorio oggetto di studio	27
2.1 Il parco.....	27
2.2 Caratteristiche territoriali.....	29
<i>Aspetti geomorfologici, pedologici e idrogeologici</i>	<i>29</i>
<i>Aspetti climatici e fitoclimatici</i>	<i>31</i>
<i>Aree di pregio ambientale comprese nel Parco</i>	<i>34</i>
2.3 Uso del suolo	37
2.4 Agricoltura.....	38
<i>Ruolo dell'agricoltura nelle aree protette.....</i>	<i>38</i>
<i>Agricoltura locale.....</i>	<i>39</i>
<i>Aspetti strutturali dell'agricoltura locale.....</i>	<i>42</i>
<i>La specializzazione produttiva dei comuni del Parco: ISP.....</i>	<i>46</i>
2.5 Formazioni boschive.....	50
<i>Principali tipologie forestali del Parco.....</i>	<i>53</i>
3 Quantificazione delle biomasse disponibili: il comparto agricolo	56
3.1 Introduzione.....	56
3.2 Materiali e metodi.....	56
<i>Stima del potenziale: metodologia applicata</i>	<i>57</i>
<i>Verifica dei parametri di calcolo dei sottoprodotti locali.....</i>	<i>61</i>
<i>Epoca e modalità di campionamento</i>	<i>61</i>
<i>Nocciolo: elaborazione statistica dei dati</i>	<i>64</i>
<i>Olivo: elaborazione statistica dei dati.....</i>	<i>66</i>
3.3 Risultati comunali.....	67
<i>Potenziale lordo teorico</i>	<i>68</i>
<i>Potenziale netto teorico.....</i>	<i>71</i>
3.4 Considerazioni circa il potenziale reale	76
3.5 Gli impieghi attuali delle biomasse lignocellulosiche e raccolta meccanizzata	78

4 Quantificazione delle biomasse disponibili: il comparto forestale e il verde urbano	82
4.1 Introduzione.....	82
4.2 Il potenziale lordo forestale secondo AIGR-ENEA	83
<i>Risultati: ipotesi di sviluppo energetico</i>	<i>85</i>
4.3 Approfondimento metodologico.....	86
<i>Verifica delle produzioni locali: prodotti e sottoprodotti</i>	<i>87</i>
<i>Epoca e modalità di campionamento</i>	<i>90</i>
<i>Elaborazione statistica dei dati</i>	<i>93</i>
<i>Caratterizzazione della biomassa.....</i>	<i>100</i>
4.4 Verde urbano: stato dell'arte	104
<i>La filiera città-legno-energia</i>	<i>105</i>
<i>Stima degli scarti da potature nel Parco.....</i>	<i>109</i>
 5 Applicazione di un modello per la quantificazione della biomassa forestale.....	 112
5.1 Introduzione.....	112
5.2 Modelli di stima.....	113
5.3 Il modulo CTS	116
<i>Dati di input.....</i>	<i>116</i>
<i>Calcolo della Produzione di biomassa</i>	<i>120</i>
5.4 Calibrazione e validazione del modello.....	123
<i>Caso di studio: i castagneti del Parco Naturale di Bracciano-Martignano</i>	<i>124</i>
 6 Risultati complessivi e conclusioni	 129
6.1 Sintesi dei risultati	129
6.2 Ipotesi di dimensionamento di un impianto locale.....	133
6.3 Considerazioni conclusive	137
6.4 Sviluppi futuri della ricerca	139
 7 Bibliografia.....	 141

Premessa

La consapevolezza dei problemi legati ai cambiamenti climatici, unita alla scarsità dei combustibili fossili, ha stimolato, tanto a livello internazionale, quanto nella dimensione locale, un forte impulso alla produzione ed al consumo delle fonti energetiche rinnovabili. Nell'ampio quadro delle opportunità derivanti dalle fonti energetiche alternative importanti aspettative sono legate all'utilizzo delle biomasse di origine agro-forestale, grazie alla loro flessibilità d'impiego e alla disponibilità di tipologie di utenze molto diverse che vanno dalla media (comuni, condomini) alla piccola scala (singola azienda o utenza privata). La produzione di energia attraverso la biomassa rappresenta una vera e propria risorsa territoriale, accessibile a tutti e portatrice di nuove forme di produzione di reddito integrato e in grado di promuovere l'economia rurale fornendo opportunità per nuovi posti di lavoro, pur senza stravolgere gli attuali assetti produttivi e culturali. Un suo maggior consumo potrebbe infatti favorire la diffusione di aziende agroenergetiche in grado di soddisfare il proprio fabbisogno energetico; potrebbe agevolare lo sviluppo di nuove forme consortili per la gestione di "reti energetiche territoriali" e la promozione di filiere specifiche, strutturate tramite aree distrettuali di produzione. La biomassa è una fonte rinnovabile di energia la cui caratteristica principale è quella di essere intrinsecamente legata al territorio: è infatti disponibile ovunque e largamente diffusa, anche se in qualità e quantità diverse. Per tale ragione è necessario organizzarne la raccolta e il trasporto. Inoltre quella effettivamente disponibile non è soltanto utilizzata per fornire energia poiché l'uomo ne ha bisogno per soddisfare numerose esigenze (alimentazione zootecnica, produzione di mobilio, estrazione di prodotti chimici ecc.). Dunque uno dei principali limiti nello sfruttamento della biomassa è legato alla possibilità di definire la quantità e qualità delle varie tipologie presenti nell'area, al fine di individuare dei bacini di approvvigionamento. Per tale ragione sono necessari studi e ricerche puntali al fine di valutare al meglio le effettive potenzialità di un territorio permettendo dunque di programmare azioni concrete volte all'effettivo sfruttamento della risorsa in armonia con le peculiari caratteristiche locali.

L'obiettivo del presente lavoro è pertanto quello di individuare le principali risorse presenti nel territorio di un Parco Naturale Regionale e, sulla base di indagini e sopralluoghi in loco e con dati reperiti da fonti ufficiali e recenti, di fornire indicazioni sul possibile impiego energetico dei sottoprodotti. In particolare l'attenzione è rivolta a quelle biomasse che al momento non presentano altri impieghi che siano tecnicamente ed economicamente più convenienti rispetto all'utilizzo per fini bioenergetici. Sono stati presi in considerazione tutti quegli scarti di matrice lignocellulosica (paglie, steli, potature, ecc.) che derivano dalla

coltivazione di piante erbacee ed arboree. La stima dei quantitativi di biomasse forestali destinabili ad uso energetico è stata fatta a due livelli: il primo analizzando l'attuale produzione di legna dai boschi del territorio del Parco; il secondo valutando i possibili ed auspicabili quantitativi ottenibili dal recupero degli scarti attualmente abbandonati sul posto.

Questo studio, attraverso una valutazione oggettiva delle biomasse disponibili, vuole essere uno strumento a servizio delle comunità locali al fine di sensibilizzare il pubblico interessato circa le possibilità offerte dalla biomassa; vuole essere infatti uno strumento di supporto per le politiche territoriali per valorizzare al meglio una risorsa in grado di sviluppare il territorio.

Il lavoro è organizzato come segue:

nel capitolo 1 si introducono le tematiche che riguardano i cambiamenti climatici e la questione energetica con particolare riferimento allo sfruttamento delle biomasse per poter comprendere il contesto nazionale in cui ci si inserisce; nel capitolo 2 viene proposta un'attenta analisi dell'area oggetto di studio, il Parco Naturale Regionale di Bracciano-Martignano, al fine di individuare le principali caratteristiche ambientali e socio-economiche per valutarne le potenzialità di sviluppo di una futura filiera legno-energia. Nei capitoli 3 e 4 viene formulata una stima della biomassa derivabile dagli scarti e sottoprodotti agroforestali (paglie, stocchi di mais, scarti delle utilizzazioni forestali e potature urbane). Tal fine è soddisfatto attraverso la rivisitazione e l'aggiornamento della metodologia AIGR-ENEA usata negli anni '90 per la stima a livello nazionale con dettaglio provinciale. Per entrambi i comparti si presentano inoltre i risultati ottenuti dai campionamenti e sopralluoghi sul posto effettuati allo scopo di valutare l'effettiva attendibilità dei parametri di stima proposti in questo lavoro e verificare il grado di rappresentazione delle reali condizioni presenti sul territorio. Nel capitolo 5, frutto dell'attività svolta nell'ambito di una collaborazione con altri istituti, il cui scopo è stato mettere a punto una metodologia per la stima della biomassa forestale anche attraverso l'utilizzo di dati satellitari, si descrive il modello implementato e si presentano i risultati della una sua prima applicazione nei cedui castanili locali. L'obiettivo infatti è quello di fornire una prima base di dati su cui predire in futuro il tasso di crescita dei principali soprassuoli del Parco, in modo da disporre così di un valido supporto gestionale che tenga conto anche della capacità dei soprassuoli forestali di immagazzinare CO₂. Nel capitolo 6, infine, si traggono le conclusioni del lavoro e si ipotizza un caso pratico di applicazione di utilizzo locale della biomassa.

1 I cambiamenti climatici e la questione energetica

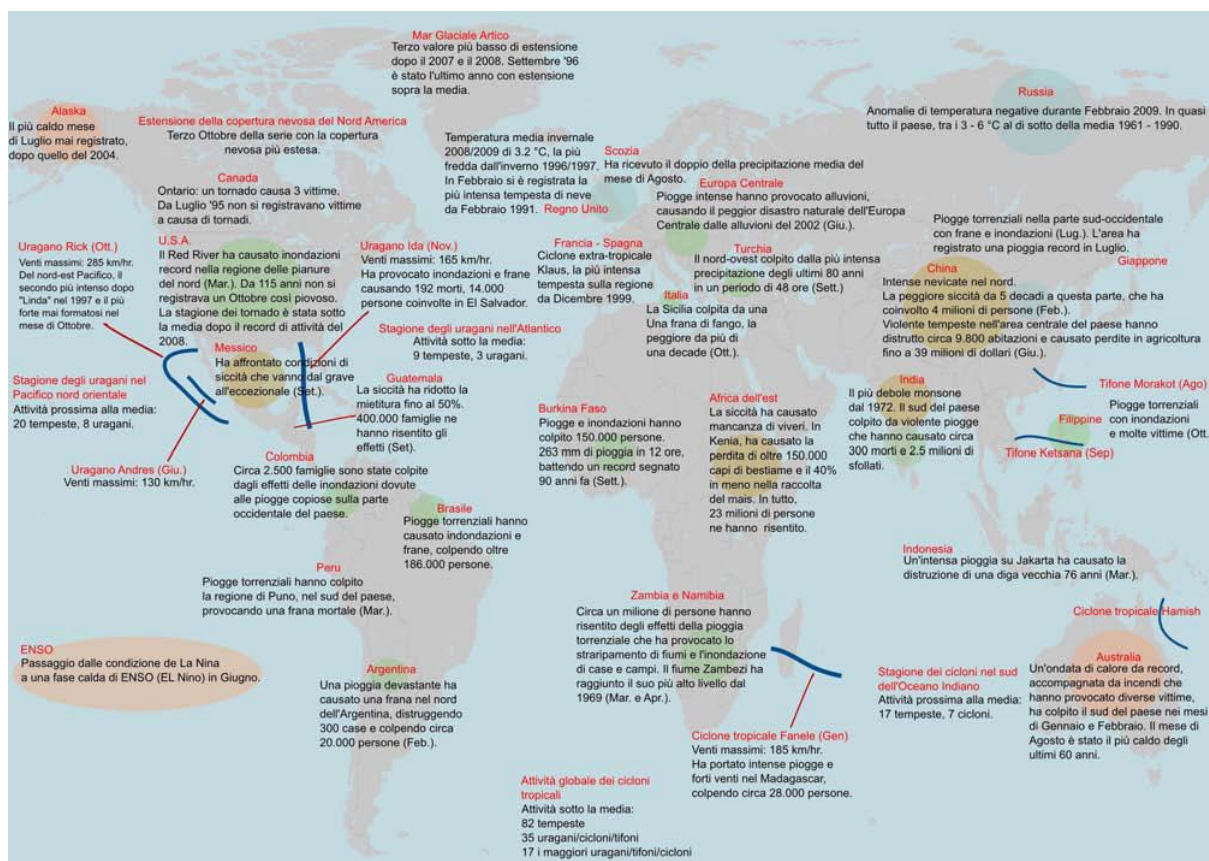
“il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile, come è ora evidente dalle osservazioni dell’aumento delle temperature medie globali dell’aria e delle temperature degli oceani, dello scioglimento diffuso di neve e ghiaccio, e dell’innalzamento del livello del mare medio globale”

IPCC, 2007

1.1 Effetto serra e cambiamenti climatici

Il clima della terra non è mai stato stabile; non solo nel periodo delle ere glaciali ma anche negli ultimi millenni ci sono state variazioni importanti, è probabile però che ora sia in atto un processo di cambiamento climatico forse più veloce di quanto la storia dell’uomo ricordi. Negli ultimi anni le anomalie climatiche alle quali abbiamo assistito si sono susseguite in tutto il mondo (Fig. 1.1).

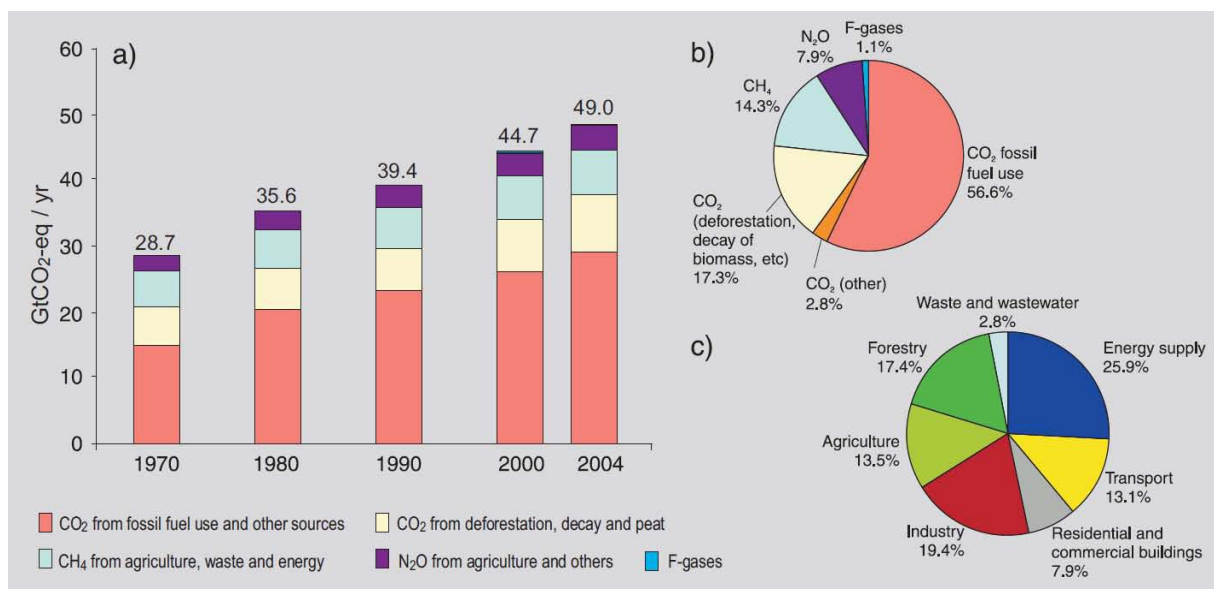
Figura 1.1: sintesi delle principali anomalie climatiche globali verificatesi nel corso del 2009



Fonte: NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

La comunità scientifica internazionale è da tempo concorde nel ritenere che queste variazioni climatiche siano la conseguenza di un sempre più crescente aumento di gas ad effetto serra nell'atmosfera (Hansen *et al* 2000; Hansen *et Sato* 2001). Infatti negli ultimi decenni, a causa del rapido aumento delle attività antropiche, la composizione chimica dell'atmosfera è mutata sensibilmente. In particolare, l'aumento dei gas serra, secondo le stime del foro intergovernativo sul cambiamento climatico (IPCC), è stato del 70% nel periodo 1970-2004. (Fig.1.2a) L'anidride carbonica è il principale gas serra di natura antropica, pertanto svolge un ruolo determinante nel fenomeno del riscaldamento globale poiché rappresenta, a livello mondiale, oltre il 90% delle emissioni. A partire dalla rivoluzione industriale, la concentrazione di questo gas nell'atmosfera è in continuo aumento a causa dello squilibrio tra le emissioni e gli assorbimenti del gas. La sua concentrazione è aumentata dell'80% nell'ultimo trentennio (IPCC, 2007). La principale causa dell'accrescimento del livello di CO₂ sono i combustibili fossili che nel 2004 hanno contribuito per oltre il 56% del totale delle emissioni di gas serra di natura antropica (Fig. 1.2b). I settori che maggiormente hanno determinato la crescita del livello di emissioni antropogeniche di gas serra nel periodo 1970-2004 sono stati quello dell'industria, dei trasporti e della produzione di energia. Quest'ultimo nel 2004 ha inciso per una quota pari quasi al 26% del totale (Fig. 1.2c). Anche l'agricoltura rilascia gas serra nell'atmosfera, anche se in misura minore rispetto ad altri settori economici. Questo settore rappresenta un importante fonte di protossido d'azoto (N₂O) e di metano (CH₄), le cui emissioni sono prodotte dallo stoccaggio e dallo spargimento di letame animale.

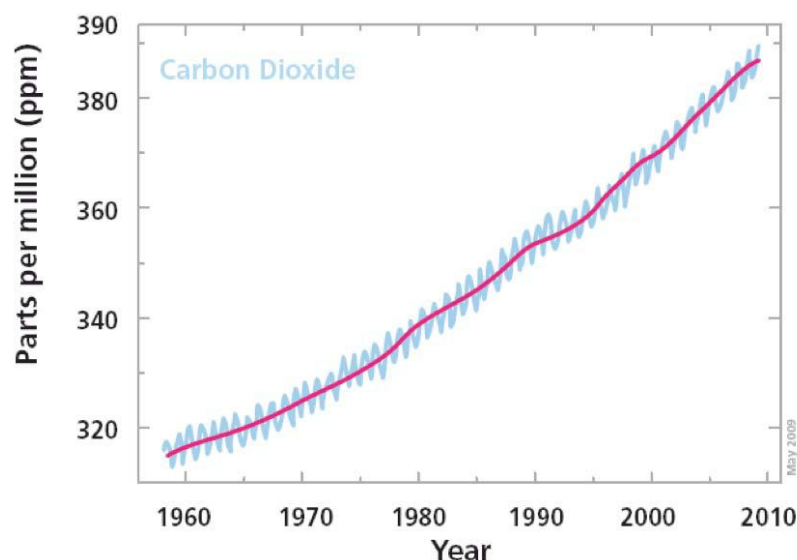
Figura 1.2: a) Emissioni antropogeniche globali di gas serra 1970-2004; b) Quote per tipologia di gas serra nel 2004; c) Quote per settore nel 2004



Fonte: IPCC - Climate Change 2007

La differenza tra le immissioni di CO₂ e l'accumulo di questo gas nell'atmosfera è determinata dall'assorbimento di carbonio che si verifica in alcuni importanti comparti del bilancio globale del carbonio (*sinks*) quali gli oceani e le foreste. Infatti, la biosfera terrestre viene considerata una delle principali riserve in cui viene accumulato carbonio. In totale ogni anno sono immessi nell'atmosfera circa 720 miliardi di tonnellate di CO₂, ma in media 708 vengono riassorbiti dalla superficie terrestre e dalle acque dei mari, quindi ne restano nell'atmosfera 12 miliardi. Questo spiega l'aumento pari a 1,5 ppm che in media ogni anno si registra nella concentrazione di tale gas nell'atmosfera (Fig. 1.3). Dunque, prendendo in considerazione un lasso di tempo ampio, è possibile affermare che la concentrazione atmosferica del gas indagato, è passata dal valore di 280 ppm nel periodo pre-industriale, all'attuale valore di 383 ppm, tenendo in considerazione esclusivamente le fonti provenienti dall'uso dei combustibili fossili nei processi di combustione e nella produzione di cemento (IPCC, 2007).

Figura 1.3: Concentrazione di CO2 in atm (ppmv)



Fonte: Climate Change Congress, Copenhagen 2009

Le conseguenze di un riscaldamento globale sul clima sono ancora oggi in fase di studio, tuttavia tra gli studiosi vi è un certo accordo nel prevedere per i prossimi 100 anni un ulteriore aumento della temperatura media globale. I mutamenti climatici conseguenti a questi fenomeni perturberanno gli attuali regimi pluviometrici e la disponibilità delle risorse

nutritive dei suoli. Ciò determinerebbe un aumento del livello degli oceani tra 20 e 140 cm dovuto all'espansione termica dell'acqua marina ed allo scioglimento dei ghiacci polari. Il riscaldamento della terra, allo stato attuale ha già comportato dei concreti cambiamenti, in particolare ha determinato:

- l'aumento della temperatura dell'aria (Fig.1.4a)
- l'innalzamento del livello dei mari (Fig. 1.4b)
- la riduzione della calotta glaciale.

Figura 1.4a: Temperatura atmosferica (°C)

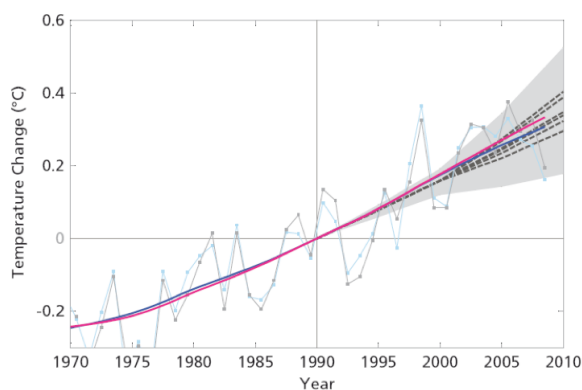
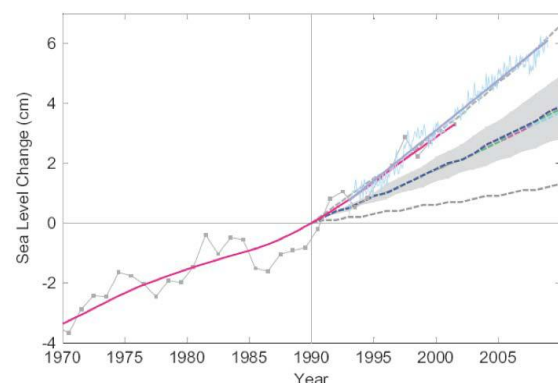


Figura 1.4b: livello del mare (cm)



Fonte: Climate Change Congress, Copenhagen 10-12 marzo 2009

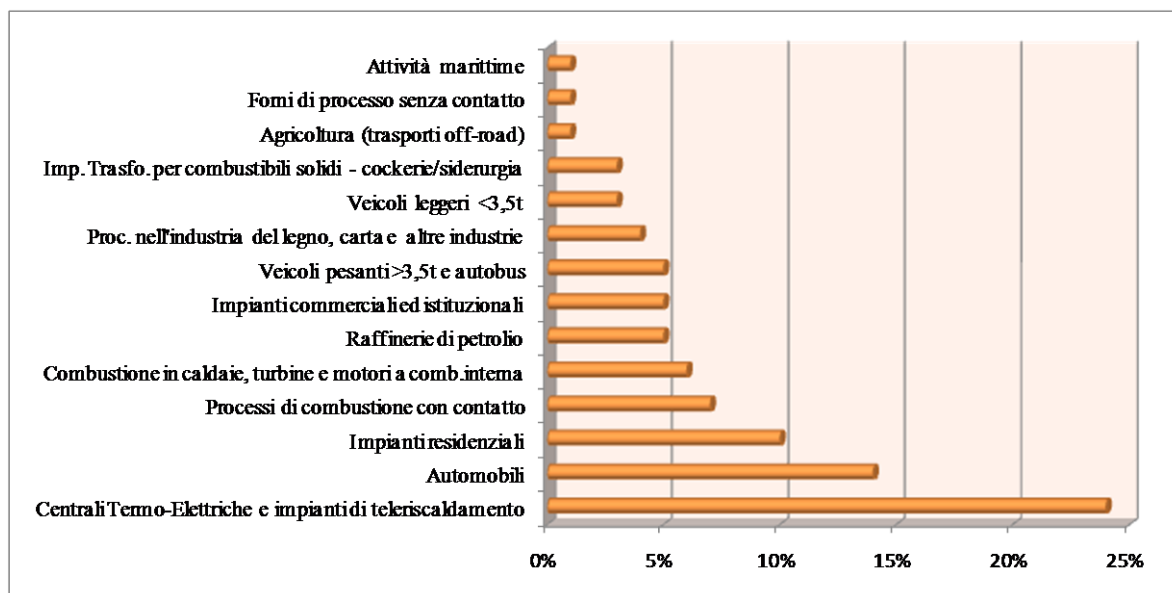
Le previsioni sull'andamento futuro delle concentrazioni di CO₂ e degli altri gas serra rivestono una grande importanza poiché sono indispensabili per poter costruire scenari sufficientemente credibili sull'evoluzione del clima dei prossimi decenni.

Il contesto Italiano

Anche in Italia, come già evidenziato a livello mondiale, si sono registrate recenti anomalie climatiche. Allo stesso modo, risulta in linea anche con il generale trend di crescita delle emissioni di gas serra: i dati più recenti dell'inventario nazionale delle emissioni mostrano, infatti, che queste sono cresciute complessivamente di 51 Mt di CO₂ eq., passando da 516,9 a 567,9 Mt CO₂ eq., nel periodo 1990-2006, con un incremento del 9,9%. (Ministero dell'ambiente, 2009). Il settore maggiormente responsabile dell'emissione in atmosfera di CO₂ è, anche per l'Italia, il settore energetico seguito dal settore trasporti (Fig. 1.5). Nel 2007,

l'agricoltura è stata responsabile del 6,7% delle emissioni totali di gas serra, espressi in CO₂ equivalente (Ispra, 2009).

Figura 1.5: emissioni nazionali di CO₂ (anno 2008), ripartizione (%) nei diversi settori.



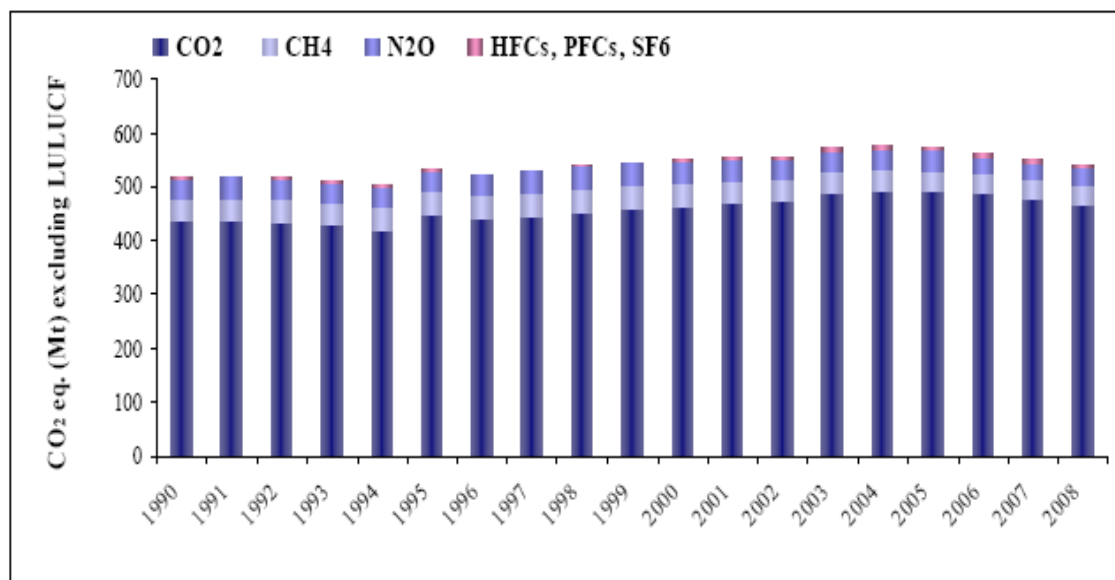
Fonte : Apat (<http://www.sinanet.apat.it/it/emissioni>, consultato a novembre 2010)

A livello globale l'Italia è responsabile di non più dell'1,7% delle emissioni complessive provenienti dall'uso dei combustibili fossili, risultando in nona posizione tra dieci Paesi con i maggiori livelli di emissione dei gas serra (IEA, 2010).

Da una analisi di sintesi della serie storica dei dati di emissione dal 1990 al 2008, si evidenzia che le emissioni nazionali totali dei sei gas serra, espresse in CO₂ equivalente, sono aumentate del 4,7% nel 2008 rispetto all'anno base (corrispondente al 1990), a fronte di un impegno nazionale di riduzione del 6,5% entro il periodo 2008-2012 (Ispra, 2010). Anche le emissioni relative al settore rifiuti rappresentano una criticità, mentre si sono stabilizzate le emissioni del settore agricolo. Le emissioni di metano e di protossido di azoto sono pari rispettivamente a circa il 6% e l'8% del totale e presentano andamenti in diminuzione per il metano (-7,7%) e in crescita (+10,4%) per il protossido di azoto. Gli altri gas serra, HFCs, PFCs e SF₆, hanno un peso complessivo intorno all'1,5% sul totale delle emissioni; le emissioni di questi ultimi gas sono in forte crescita per quanto riguarda gli HFCs e in diminuzione per gli altri due. (Fig. 1.6) Anche se al momento non sono rilevanti ai fini del raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni, il forte trend di crescita li renderà sempre più importanti nei prossimi anni (Apat, 2006).

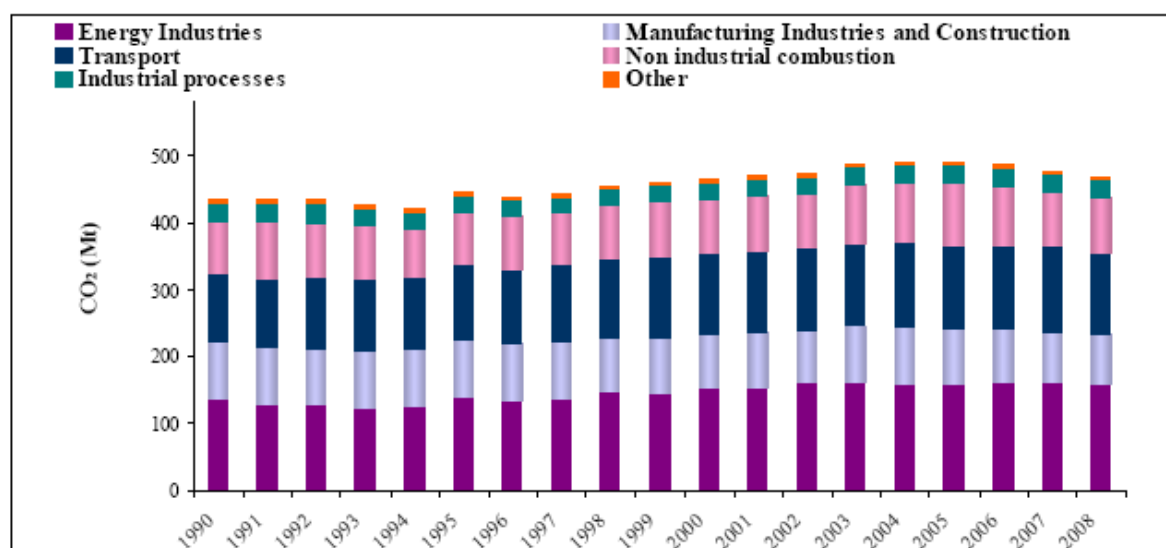
Nel periodo 1990-2008 si sono ridotte le emissioni fuggitive (dovute a perdite accidentali durante le fasi di estrazione e di distribuzione degli idrocarburi), quelle provenienti dall'industria manifatturiera, dall'agricoltura e dall'uso di solventi, mentre sono aumentate quelle provenienti dai processi industriali, dai rifiuti, dal settore residenziale e dei servizi e soprattutto quelle provenienti dalle industrie energetiche e dei trasporti (Fig. 1.7).

Figura 1.6: emissioni nazionali dei principali gas serra (1990-2008, Mt CO₂ eq.)



Fonte: Ispra, 2010

Figura 1.7: emissioni nazionali di CO₂ per settore nel periodo 1990-2008 (Mt)



Fonte: Ispra, 2010

In particolare, le emissioni prodotte dai trasporti sono aumentate del 20,9% dal 1990 al 2008, mentre quelle provenienti dalla produzione di energia sono aumentate del 16,6%. Le emissioni nel settore 'Altro', per lo più le emissioni fuggitive da petrolio e gas naturale e emissioni derivanti dall'utilizzo di prodotti solventi e di altri, si sono ridotte del 31,5%.

Recenti indagini comunque evidenziano una diminuzione delle emissioni del 6,9% per l'anno 2009 rispetto al precedente. Tale diminuzione si è registrata solo a causa della crisi economica. Tuttavia gli scenari ENEA mostrano come queste tendenze decrescenti siano temporanee in assenza di interventi in grado di indurre cambiamenti strutturali del sistema energetico. Con un sistema energetico che evolve in modo “tendenziale”, le emissioni di CO₂ riprendono ad aumentare (Enea, 2010)

1.2 Foreste e carbonio

Particolare attenzione si sta attualmente ponendo alla valutazione delle conseguenze che potranno avere le variazioni nella distribuzione planetaria di temperatura e umidità sugli ecosistemi terrestri, ed in particolar modo sulle foreste.

Le foreste sono soggette ad un lento adattamento all'ambiente, e cambiamenti della climatologia possono quindi provocare squilibri nella stabilità biologica e fisica di questi ecosistemi. Questi rischi sono aggravati dal fatto che le foreste sono il principale serbatoio terrestre di carbonio, il quale, in seguito alle modificate condizioni climatiche, potrebbe essere liberato come anidride carbonica attraverso un incremento dei processi di respirazione (Garten *et al.*, 1999; Grace, 2001). Le foreste quindi sono parte attiva del bilancio planetario del carbonio; gli alberi infatti, grazie al processo di fotosintesi clorofilliana, sono in grado di assorbire anidride carbonica e di legarla nei carboidrati. Il carbonio così trasformato rimane immobilizzato per lungo tempo nel legno e nella sostanza organica del suolo, costituendo un importante *pool* nel bilancio di questo elemento. Inoltre, analisi condotte in differenti Paesi, rivelano che gli alberi contengono dal 50% al 80% del carbonio complessivamente assorbito dalle foreste (Turner *et al.*, 1995; Perruchoud *et al.*, 1999; Liski *et al.*, 2002). Globalmente queste ultime occupano circa 4,1 miliardi di ettari, pari al 34% della superficie delle terre emerse. E' stato stimato che esse contengono circa l' 80% del carbonio terrestre epigeo e circa il 40% di quello globalmente presente nel suolo (comprensivo della lettiera e delle radici) (Dixon *et al.*, 1994). Pertanto il ruolo delle foreste nell'assimilazione e nella fissazione del carbonio è, senza dubbio, di fondamentale importanza per l'intera biosfera. Infatti esse rappresentano dei complessi sistemi di collegamento fra l'atmosfera e la geosfera, con importanti implicazioni anche sull'idrosfera, trovandosi pertanto in una posizione centrale nello studio dei cambiamenti climatici globali. Attraverso le attività di scambio di materia e di energia con l'atmosfera, partecipano in modo attivo alla regolazione del clima. Esse devono quindi essere studiate e gestite anche in virtù del loro fondamentale ruolo nel ciclo del carbonio, ruolo che attribuisce una nuova importanza politica ed economica ai Paesi nei quali tali ecosistemi sono maggiormente rappresentati.

E' bene precisare che la capacità delle foreste di sequestrare carbonio deve essere calcolata tenendo in considerazione la reale gestione selvicolturale alla quale queste sono sottoposte. Pertanto, la gestione sostenibile delle foreste, e l'uso di biomasse legnose prelevate per la produzione di energia e di prodotti rinnovabili, rappresentano probabilmente il più rilevante contributo degli ecosistemi forestali alla riduzione della concentrazione atmosferica di gas serra, (Schlamadinger & Marland 1996). Se infatti è vero che la capacità del bosco di

immagazzinare carbonio nelle piante e nei suoli potrebbe essere esaltata da una attenta politica di protezione delle foreste e di riduzione delle utilizzazioni (Harmon *et al.*, 1990; Dewar, 1991), è anche noto che tale capacità di assorbimento è destinata a saturarsi nel tempo e può ridurre solo marginalmente la concentrazione atmosferica di CO₂ (Scholes & Noble 2001). Si stima invece che le biomasse legnose possano coprire una frazione non indifferente del fabbisogno mondiale di energia (Parikka, 2004), contribuendo a ridurre il ricorso ai combustibili fossili, i principali responsabili per l'aumento della concentrazione atmosferica dei gas serra. Anche per queste ragioni l'impiego di energie da fonti rinnovabili sta ricevendo negli ultimi anni forti stimoli. In particolare per quanto riguarda l'Italia, è stata proposta la possibilità di utilizzare a tal fine la legna proveniente dai boschi cedui o dagli interventi colturali di diradamento o avviamento all'alto fusto (Portoghesi, 2002, Freppaz *et al.*, 2004). Inoltre è stata sottolineata la possibilità di incrementare la disponibilità di biomassa legnosa attraverso l'uso dei cosiddetti residui forestali, oggi generalmente abbandonati in bosco: questa componente potrebbe contribuire significativamente alla disponibilità complessiva di biomassa per uso energetico. Allo stesso modo è stato messo in evidenza come l'impiego su larga scala di materia prima legnosa possa generare problemi di organizzazione della produzione e nel mercato, oltre che di gestione sostenibile (Ciccarese *et al.*, 2003). Pertanto nel promuovere l'uso delle biomasse forestali come sostituto dei combustibili fossili, è essenziale distinguere fra la gestione pianificata, che interessando ogni anno una frazione della superficie boscata complessiva compensa il prelievo con gli incrementi di tutte le particelle non toccate, dal taglio occasionale, guidato solamente dalle condizioni di mercato del momento. Se la prima è garanzia di gestione sostenibile, il secondo rischia di generare nel medio termine squilibri paesistici ed ambientali imprevisi (Magnani, 2005). Quindi qualsiasi ipotesi di utilizzazione a fini energetici delle biomasse forestali dovrebbe essere preceduta, caso per caso, bosco per bosco, da un'accurata fase di studio e da un processo di pianificazione e che tenga conto di tutti gli aspetti che riguardano la funzionalità e la conservazione dell'ecosistema e del territorio, prevedendo i vincoli opportuni (Borghetti, 2005).

1.3 Politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici

Allo scopo di valutare i probabili effetti delle modificazioni sul clima planetario ed il loro relativo impatto sulla vita del pianeta, l'organizzazione meteorologica mondiale (WMO) ed il programma ambiente delle Nazioni Unite (UNEP) costituirono nel 1988 una commissione internazionale per lo studio dei cambiamenti climatici: IPCC. Ma il processo che ha condotto alla formulazione di uno strumento giuridico, per contrastare il cambiamento climatico, ha avuto inizio solo nel 1992, in occasione del vertice di Rio de Janeiro, a seguito del quale è stata adottata la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC). Obiettivo della Convenzione è stabilizzare le concentrazioni dei gas serra nell'atmosfera ad un livello che impedisca un'interferenza pericolosa per il sistema climatico. Nella convenzione UNFCCC venne istituita "la Conferenza delle Parti", organo supremo e decisionale, il cui compito è quello di controllare l'effettivo svolgimento delle azioni per il raggiungimento degli obiettivi previsti nel corso della suddetta Convenzione.

Il Protocollo di Kyoto e le decisioni Europee

In occasione della terza sessione della Conferenza delle Parti (CoP-3) della Convenzione delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, tenutasi in Giappone dal 1 al 10 dicembre 1997, venne adottato il Protocollo di Kyoto. Questo rappresenta un processo di collaborazione mondiale su base consensuale che ha sancito la centralità dei problemi del clima globale nello sviluppo socio - economico mondiale e la centralità dello sviluppo sostenibile per il futuro del nostro pianeta. Costituisce pertanto un importante passo avanti nella lotta contro il riscaldamento planetario poiché contiene obiettivi vincolanti e quantificati di limitazione e riduzione delle emissioni dei gas serra. Il Protocollo prevede la riduzione delle emissioni antropiche dei gas capaci di alterare l'effetto serra naturale del nostro pianeta, di una quantità complessiva pari al 5,2% nel periodo compreso tra il 2008 e il 2012. I suddetti gas sono:

- l'anidride carbonica (CO_2)
- il metano (CH_4)
- il protossido di azoto (N_2O)
- gli idrofluorocarburi (HFC)
- i perfluorocarburi (PFC)
- l'esafuoro di zolfo (SF_6)

Le Parti alle quali il Protocollo si rivolge sono elencate nell'Annesso I della Convenzione. Trattasi di Paesi sviluppati o ad economia in transizione (Paesi dell'est europeo). Nessun tipo di limitazione viene prevista per i Paesi in via di sviluppo, in quanto un tale vincolo rallenterebbe il loro cammino verso la crescita socio - economica.

L'anno di riferimento per la riduzione delle emissioni dei primi tre gas è il 1990, mentre per i rimanenti è il 1995. La riduzione complessiva del 5,2% però, non è uguale per tutti; infatti, per ogni Paese è stata stabilita un'aliquota in base alla particolare situazione energetica. Per l'Unione Europea la riduzione complessiva deve essere del 8%.

Nonostante le limitazioni imposte dal Protocollo di Kyoto, si può ragionevolmente ritenere che la concentrazione atmosferica di CO₂ continuerà a crescere in futuro, fino a raggiungere nel 2100 valori compresi tra 550 e 700 ppm. Infatti, anche se a Kyoto i Paesi industrializzati si sono impegnati a ridurre le loro emissioni di biossido di carbonio, altri Paesi quali l'Asia, il Sud America e l'Africa, continueranno ad aumentare le loro emissioni con un ritmo del 3-4% all'anno almeno fino al 2020, anche se con marcate differenze da una parte all'altra del globo. Per entrare in vigore, il Protocollo necessitava della ratifica da 55 Parti della Convenzione che raggiungessero complessivamente oltre il 55% del totale di emissioni di CO₂. Sul totale delle emissioni provenienti dai Paesi industrializzati e da quelli ad economia in transizione, nel 1990 l'Unione Europea ne era responsabile per il 22% circa, i Paesi dell'est Europeo per circa il 30%, mentre i rimanenti Paesi industrializzati del 48% di cui più della metà rappresenta la quota attribuibile agli Stati Uniti. Proprio questi ultimi, pur essendo responsabili di una così alta percentuale di emissioni del gas serra, si sono dichiarati contrari al Protocollo. Solo in occasione della Conferenza tenutasi a Buenos Aires si è mostrata a favore del progetto e con la sua firma è stato possibile raggiungere il 61,6% delle emissioni di anidride carbonica mondiali. Dunque, finalmente, dal 16 febbraio 2005, dopo anni di trattative, il Protocollo di Kyoto, è entrato in vigore.

Successivamente, in termini di politica internazionale sono stati compiuti importanti passi avanti nell'ambito dei negoziati avvenuti in occasione delle varie Conferenze. In particolare merita attenzione la Conferenza di Milano (Cop9, 2003) in occasione della quale è stato presentato il rapporto Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry (GPGGLULUCF), a cura dell'IPCC. Il rapporto indica le tecniche per la stima dei depositi (stock) di carbonio e delle variazioni di tali depositi nelle varie categorie di uso del suolo, sull'intero territorio nazionale (in base alle prescrizioni della convenzione) e su tutti i terreni destinati alle attività previste nel Protocollo di Kyoto. L'UNFCCC obbliga i suoi membri a riportare i dati sulle variazioni delle quantità di carbonio dovute alle attività di cambiamento

dell'uso del suolo e alle attività di gestione del patrimonio forestale. Pertanto il ruolo strategico degli ecosistemi vegetali, tra cui le foreste, nelle politiche di mitigazione delle emissioni di gas serra è definitivamente riconosciuto dalla capacità di assorbimento e stoccaggio degli stessi; per questa ragione le foreste sono considerate alla stregua di serbatoi (sinks) di carbonio, e pertanto la Convenzione Quadro sui cambiamenti climatici stabilisce la necessità di quantificare concretamente i possibili abbattimenti di gas serra.

L'Italia ha ratificato il Protocollo di Kyoto con la legge n. 120 del primo giugno 2002, nella quale viene presentato il Piano Nazionale per l'abbattimento delle emissioni di gas serra. L'obiettivo di riduzione è fissato per l'Italia al 6,5% delle emissioni del 1990 (da 508 si deve quindi scendere a 475 Mt CO₂ eq.). Purtroppo le emissioni dei gas serra, e in particolare quelle di anidride carbonica, sono aumentate più del 4% rispetto all'anno di riferimento (1990) a fronte di un impegno nazionale di riduzione del 6.5% entro il periodo 2008-2012. (Ispra, 2010).

Negli anni successivi, sempre in un ottica di lotta ai cambiamenti climatici, Il Consiglio Europeo, dell'8 -9 marzo 2007, ha definito le misure strategiche di riduzione delle emissioni atmosferiche dal settore energetico. Sono così stati posti i seguenti obiettivi per il 2020:

- riduzione delle emissioni di gas serra del 20% rispetto al 1990;
- contributo del 20% delle fonti rinnovabili al consumo totale di energia;
- riduzione del 20% dei consumi energetici rispetto alle proiezioni al 2020;
- contributo del 10% di biocarburanti per il trasporto.

In tal modo, insieme all'obiettivo di contrastare i cambiamenti climatici, si intende incrementare la sicurezza delle fonti energetiche, assicurare la competitività dell'economia europea e promuovere un'economia a basso contenuto di carbonio.

Il 23 gennaio 2008 il Parlamento Europeo ha approvato il pacchetto "*clima-energia*" volto conseguire gli obiettivi al 2020 su cui i capi di Stato dei paesi dell'UE avevano trovato un accordo nel marzo del 2007. L'approvazione del pacchetto è avvenuta a seguito di una serie di negoziati informali che hanno portato all'adozione congiunta del Parlamento e del Consiglio di sei proposte legislative.

1.4 La questione energetica

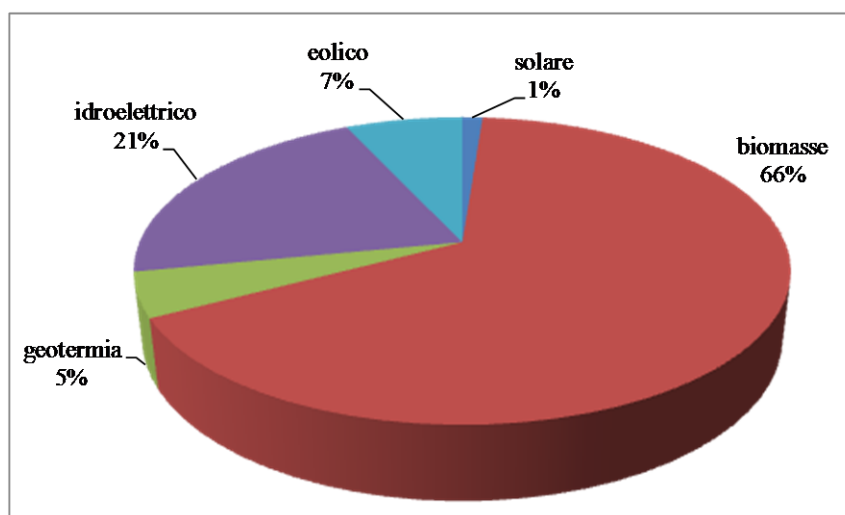
La correlazione tra l'aumento dei gas serra, in particolare della CO₂, e l'attività antropica è un fenomeno accettato dalla comunità scientifica internazionale. In particolare l'aumento globale del consumo dei combustibili fossili è responsabile dell'aumento di emissioni di gas serra. Secondo lo scenario di riferimento elaborato dall'IPCC l'aumento delle emissioni dei gas serra ipotizzato in assenza di cambiamenti delle politiche dei governi porterebbe al raddoppio della concentrazione di tali gas nell'atmosfera fino a raggiungere una concentrazione di 1000 ppm di CO₂ equivalenti entro la fine di questo secolo. L'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) stima che le emissioni di anidride carbonica potrebbero arrivare nel 2030 a 41Gt.

L'aumento della richiesta di energia da parte dei paesi in via di sviluppo è una delle ragioni che supportano le valutazioni dell'International Energy Agency (IEA, 2004), secondo cui il consumo di energia aumenterà del 50% nei prossimi 20 anni. Per Cina e India, il cui consumo pro capite è attualmente circa un decimo di quello degli Stati Uniti, si prevedono enormi consumi potenziali. Nei paesi in via di sviluppo maggiormente popolati la domanda di energia sta aumentando con tassi ancora più elevati di quelli che caratterizzarono il boom socio-economico di molti paesi industrializzati, compreso il nostro, nel periodo di maggior crescita (1950-1973). Se nei prossimi 25 anni la domanda complessiva dei paesi in via di sviluppo dovesse triplicare, scenario che appare tutt'altro che irrealistico (raggiungendo così un terzo dei consumi medi pro capite dei paesi sviluppati), il fabbisogno energetico globale risulterebbe pari a circa 17 miliardi di tep, di cui più del 50% attribuibile agli odierni paesi in via di sviluppo (a fronte dell'attuale quota del 20%). Le stime dell'ONU presentate in occasione del vertice di Johannesburg (2002), sono abbastanza in accordo con quelle della IEA (2004): se l'uso di energia primaria nel mondo dovesse continuare ad aumentare seguendo il ritmo attuale, i consumi energetici raggiungerebbero nel 2035 i 17 Gtep (il doppio rispetto a 8,8 Gtep del 1998) e i 26 Gtep nel 2055. Proprio in virtù di una sempre più crescente richiesta energetica, sta aumentando negli anni la produzione di energia "pulita". Infatti l'energia rinnovabile proviene da sorgenti non esauribili: con il termine "fonti rinnovabili" si considerano le fonti energetiche con tempi di ripristino sufficientemente contenuti da prevedere una reintegrazione compatibile con la domanda.

La quantità di energia rinnovabile consumata nei Paesi dell'Unione Europea ha raggiunto nel 2008 quota 147,7 Mtep, aumentando di 9,2 Mtep rispetto all'anno precedente. La quota da rinnovabili dei consumi di energia primaria sale a 8,2% nel 2008 dal 7,7% nel 2007. Il Paese che ha contribuito maggiormente a questo incremento è l'Italia con 2,6 Mtep in più rispetto al 2007, grazie al forte aumento della produzione dei settori biomassa solida e biocarburanti,

oltre al considerevole contributo dell'idroelettrico. Segue la Francia, con un aumento di 2,1 Mtep attribuibile al settore idroelettrico e ai biocarburanti, mentre al terzo posto è il Regno Unito con 0,7 Mtep aggiuntivi, derivanti principalmente dai biocarburanti. Osservando l'incidenza in termini percentuali che le singole fonti hanno avuto sul totale dell'energia primaria rinnovabile consumata nel 2008 (Fig. 1.8), si nota chiaramente la netta prevalenza della biomassa con una quota del 66,1% (Enea, 2008).

Figura 1.8: Consumi di energia primaria da fonti rinnovabili in UE nel 2008 quote per fonte



Fonte: EurObserv'ER 2010

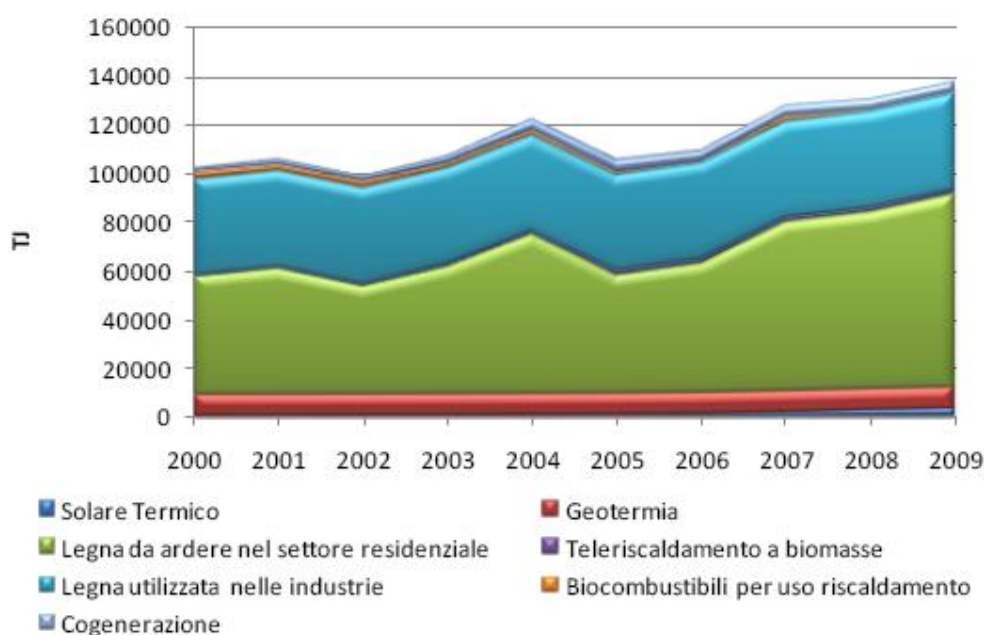
Chiaramente per soddisfare gli obiettivi europei nel settore dell'energia, sono necessarie ancora innovazioni significative nei sistemi produttivi, nella conversione del settore dei trasporti, nello sviluppo di sistemi naturali in grado di sequestrare carbonio, nella gestione dei meccanismi flessibili di protocollo di Kyoto, nell'espansione del settore dell'energia rinnovabile.

Il percorso verso uno sfruttamento pianificato e completo delle energie da fonti rinnovabili è stato avviato nel 1996 con la pubblicazione del Libro Verde per la Valorizzazione Energetica delle Fonti Rinnovabili, contenente le valutazioni sulle potenzialità di tali risorse (Commissione Europea, 1997). Al Libro Verde ha fatto seguito il Libro Bianco per la Valorizzazione Energetica delle Fonti Rinnovabili (Commissione Europea, 2000). In questo documento sono approfonditi i punti di forza e le problematiche aperte delle risorse rinnovabili attraverso un confronto tra soggetti, istituzioni pubbliche e operatori privati dei settori interessati.

Potenzialità delle rinnovabili in Italia

Nel 2008 le fonti rinnovabili di energia (FER) hanno contribuito complessivamente al consumo interno lordo (CIL) italiano per una percentuale di poco superiore al 9,6%. La produzione da fonti rinnovabili in Italia è aumentata del 18% (+2.860 ktep) circa rispetto a quella del 2007 (15.641 ktep). Nello stesso anno la produzione di calore da fonti rinnovabili viene stimata in quasi 60.000 TJ negli impianti industriali (legna e assimilati, compreso calore da cogenerazione), rimanendo sostanzialmente invariata rispetto a quella dell'anno precedente, e in 73.500 TJ circa nel settore civile (legna da ardere e teleriscaldamento a biomasse) (Fig. 1.9). Quest'ultimo dato può essere considerato approssimato per difetto in quanto tiene conto esclusivamente della biomassa legnosa commercializzata e rilevata dalle statistiche nazionali mentre gran parte dei consumi di biomassa legnosa nel settore residenziale sfugge alle rilevazioni ufficiali. Più limitato l'apporto proveniente dagli utilizzi diretti dell'energia geotermica, con un dato assestato negli ultimi anni inferiore a 9.000 TJ, mentre il dato del contributo del solare termico è in miglioramento rispetto al 2007, nel 2008 infatti la produzione di calore tramite questa fonte è stata di circa 2.300 TJ, seppure la potenza installata per abitante rimanga inferiore alla media europea.

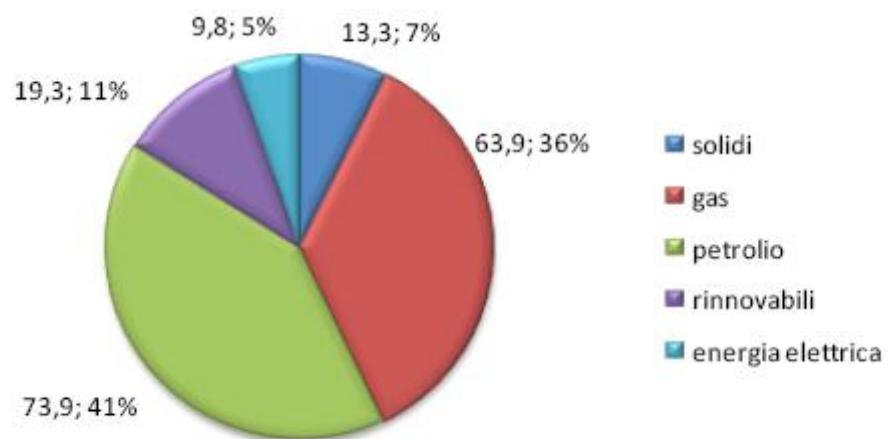
Figura 1.9: Produzione di calore da fonti rinnovabili in Italia. Anni 2000-2009 (TJ)



Fonte: ENEA, 2010

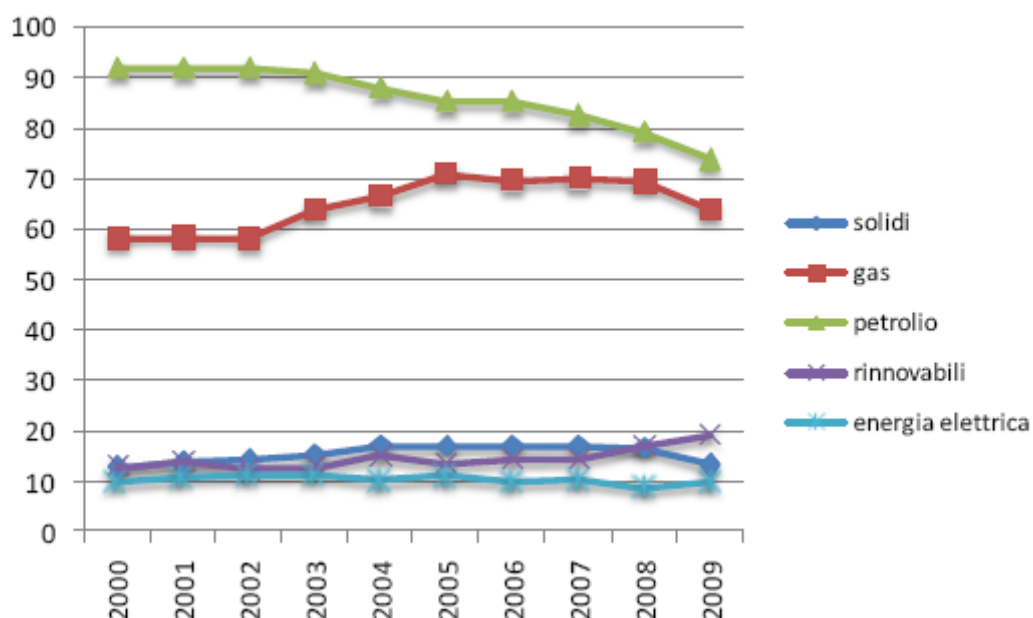
La domanda di energia primaria, nel 2009, si è attestata sui 180,2 Mtep: il dato scaturisce da una contrazione significativa dell'apporto delle fonti fossili, pur a fronte della crescita delle rinnovabili (+13,7%) e delle importazioni di energia elettrica (+11%). La composizione percentuale della domanda per fonte, conferma la specificità italiana, nel confronto con la media dei 27 paesi dell'Unione Europea, relativamente al maggior ricorso a petrolio e gas, all'importo strutturale di elettricità, al ridotto contributo dei combustibili solidi (7% dei consumi primari di energia) e al mancato ricorso alla fonte nucleare (Fig. 1.10). La Figura 1.11 mostra il profilo dinamico dei consumi primari lordi nazionali.

Figura 1.10: domanda di energia primaria per fonte. Anno 2009 (Mtep e percentuali)



Fonte: ENEA, 2010

Figura 1.11: domanda di energia primaria per fonte. Anni 2000-2009 (Mtep e percentuali)

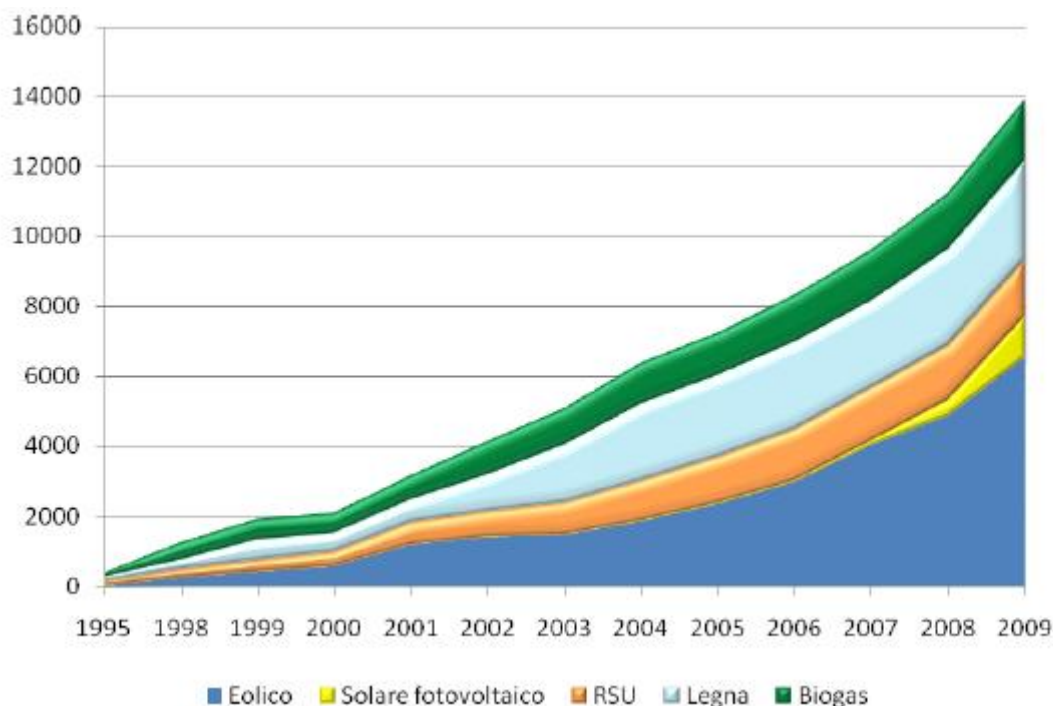


Fonte: ENEA, 2010

Nel 2009 il consumo interno lordo da FER in Italia è in aumento del 16% rispetto all'anno precedente ed è arrivato a quota 20.674 ktep. Fonti non tradizionali come eolico, fotovoltaico, rifiuti e biomasse presentano in termini percentuali l'incremento più significativo e incidono per una quota pari al 32% del totale. Nel 2009 la produzione di energia elettrica ha superato i 68 TWh, mostrando una crescita del 17% rispetto all'anno precedente e pari al 20% del consumo interno lordo di energia elettrica.

L'idroelettrico rappresenta tutt'oggi la principale fonte con quasi il 72% (49,1 TWh) circa della produzione elettrica nazionale da FER, seguito dal settore geotermico e dall'eolico. Più limitati gli apporti elettrici di biomassa, biogas e RSU in aumento di solo 0,3 TWh nel 2009 e quello del settore fotovoltaico (Figura 1.12).

Figura 1.12: elettricità da fonti rinnovabili non tradizionali in Italia. Anni 1995-2009 (GWh)



Fonte: ENEA, 2010

1.5 Le biomasse come fonte rinnovabile di energia

Ad oggi esistono opportunità considerevoli per la mitigazione dei cambiamenti climatici e la stabilizzazione delle emissioni a circa 6 Gt CO₂-eq con benefici netti positivi (Barker *et al.*, 2007). Non viene però individuato un unico settore, né tanto meno una sola tecnologia, che possa risolvere il problema della stabilizzazione delle emissioni climalteranti, piuttosto, è necessaria un'ampia gamma di tecnologie e di comparti su cui investire in politiche di riduzione delle emissioni. In tal senso la produzione sostenibile di bioenergia porta a puntare sulle biomasse come uno dei punti di riferimento per la strategia di riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra, ritenuti responsabili delle alterazioni climatiche registrate negli ultimi decenni.

Le biomasse, ma più in generale il settore della bioenergia, assumeranno un ruolo sempre più importante nel panorama energetico ed ambientale del nostro Paese. Il corretto utilizzo della

bioenergia rappresenta un classico esempio di attuazione dei principi della sostenibilità¹ in quanto agli evidenti vantaggi di natura ambientale ed economica si aggiungono quelli di natura sociale, attraverso la valorizzazione di risorse locali per la diversificazione delle fonti energetiche e la riduzione della dipendenza dall'estero.

La possibilità di modificare il trend energetico globale verso una minore “intensità di carbonio” è legata allo sviluppo e all'uso, entro il 2030, di fonti energetiche alternative ai combustibili fossili e di tecnologie ad alta efficienza. Le bioenergie, ed in particolare i biocombustibili, rappresentano un'opzione già disponibile in grado di assicurare sia risposte immediate, sia ulteriori sviluppi tecnologici in tempi relativamente brevi. Il ricorso alla bioenergia è attualmente trainato da quattro fattori principali: a) l'instabilità dei prezzi dei combustibili fossili; b) la diversificazione delle fonti energetiche e delle aree di approvvigionamento energetico; c) la necessità di ridurre le emissioni dei gas serra responsabili dei cambiamenti climatici; d) la possibilità di stimolare lo sviluppo nelle zone rurali, garantendo accesso all'energia e creando opportunità di impiego per nuova imprenditoria locale. La fonte rinnovabile che attualmente dà il maggior contributo al bilancio energetico e ambientale è la biomassa nelle sue varie tipologie, tecnologie di trasformazione e usi finali. Il termine biomassa include, nel suo significato più generale, ogni tipo di materiale che origina direttamente o indirettamente dagli organismi viventi e, in particolare, dalla fotosintesi clorofilliana. La biomassa può essere definita come una fonte energetica atipica caratterizzata da:

- › molteplicità di opzioni energetiche attuali e potenziali;
- › forte radicamento nell'ecosistema;
- › pluralità di usi extra-energetici;
- › vaste implicazioni sociali.

Recentemente, alcune direttive europee, recepite anche nella nostra legislazione, definiscono le biomasse come: “la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali ed animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali ed urbani”.²

¹ Tali principi vengono ribaditi anche a livello legislativo Europeo. Nella Relazione della Commissione al Consiglio e al parlamento Europeo sui criteri di sostenibilità relativamente all'uso di fonti da biomassa solida e gassosa per l'elettricità, il riscaldamento e il raffreddamento si legge “La sostenibilità relativa alla produzione di biomassa riguarda, fra le altre cose, la protezione di ecosistemi caratterizzati da un elevato livello di biodiversità e di stock di carbonio, quali quelli delle foreste.

² Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio 2001/77/CE del 27 settembre 2001 sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità

L'uso energetico delle biomasse va inquadrato in una visione “sistemica” che integri questi aspetti. Secondo il D.Lgs 152/2006 (Parte V, Allegato X, parte II, sez. 4, n. 1) rientrano nella definizione di biomassa combustibile i seguenti materiali:

- materiale vegetale prodotto da coltivazioni dedicate;
- materiale vegetale prodotto da trattamento esclusivamente meccanico di coltivazioni agricole non dedicate;
- materiale vegetale prodotto da interventi selvicolturali, da manutenzione forestale e da potatura;
- materiale vegetale prodotto dalla lavorazione esclusivamente meccanica di legno vergine e costituito da cortecce, segatura, trucioli, chips, refili e tondelli di legno vergine, granulati e cascami di legno vergine, granulati e cascami di sughero vergine, tondelli, non contaminati da inquinanti;
- materiale vegetale prodotto dalla lavorazione esclusivamente meccanica di prodotti agricoli;
- sansa di oliva disoleata... (omissis);
- liquor nero ottenuto nelle cartiere dalle operazioni di lisciviazione del legno e sottoposto ad evaporazione al fine di incrementarne il residuo solido... (omissis).

I prodotti energetici derivanti dalle “biomasse combustibili” possono trovare impiego in un'ampia gamma di applicazioni come biocombustibili solidi, liquidi e gassosi.

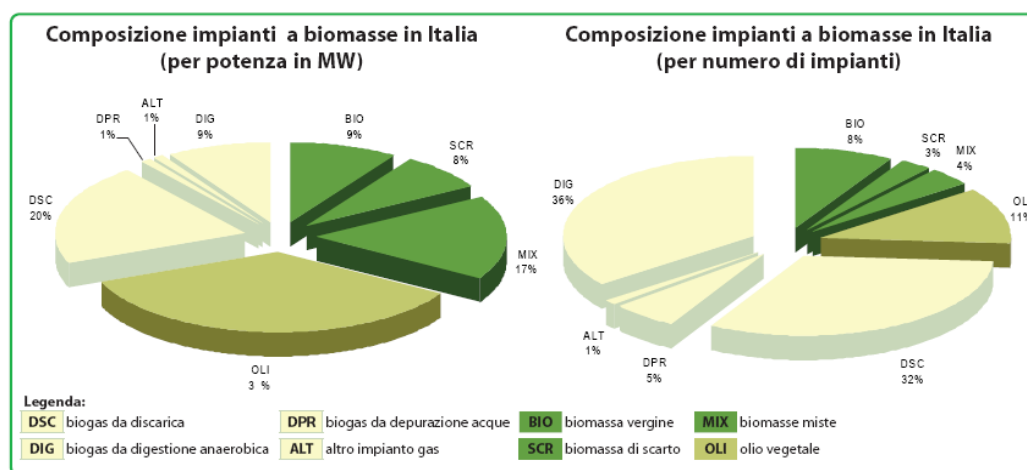
La biomassa rappresenta la forma più sofisticata di accumulo dell'energia solare. Questa, infatti, consente alle piante di convertire la CO₂ atmosferica in materia organica, attraverso il processo di fotosintesi, durante la crescita; essa costituisce quindi una risorsa rinnovabile ed inesauribile, se opportunamente utilizzata, per la produzione di altre forme di energia.

A livello mondiale, le biomasse costituiscono la quarta fonte di energia, dopo il carbone, il petrolio ed il gas naturale, contribuendo il 14% del fabbisogno energetico del pianeta (Parikka, 2004). Il loro peso è particolarmente importante nei Paesi in via di sviluppo, dove la legna da ardere e le biomasse di origine vegetale costituiscono ancora in molti casi l'unica risorsa disponibile. Anche nei paesi sviluppati le biomasse hanno peraltro mantenuto un peso non trascurabile. La produzione di energia primaria attraverso l'uso di biomassa solida nei Paesi UE è stata nel 2008 di 70,3 Mtep, manifestando una crescita positiva (+4,6%) rispetto al 2007 (67,2 Mtep). Nel 2008 i principali Paesi UE produttori di energia da biomassa solida sono la Germania con 10,3 Mtep e pari al 14,7% di tutta la produzione dell'Unione, la Francia con circa 9 Mtep (12,7% UE) e la Svezia con 8,3 Mtep (11,8% UE). Nel 2008 la produzione

di energia elettrica nell'UE da biomassa solida è stata di 57,8 TWh, cresciuta del 10,8% rispetto all'anno precedente (52,1 TWh). Anche in questo caso la Germania è il principale Paese UE nel 2008 in termini di produzione elettrica da biomassa solida con 10,4 TWh, seguita da Finlandia (10,2 TWh) e Svezia (8,9 TWh).

A livello italiano, si stima che il consumo di legna da ardere nel settore domestico ammontasse nel 1999 a 14.5 Mt, corrispondenti a 3.4 Mt equivalenti di petrolio, corrispondente a circa il 3% del fabbisogno energetico nazionale. Peraltro, l'impiego energetico delle biomasse è perlopiù legato all'uso di legna da ardere in caminetti e stufe tradizionali (Gerardi & Perrella 2001), caratterizzati da una bassa efficienza energetica ed una considerevole emissione di particolato ed inquinanti. Importanti sviluppi nelle tecnologie di combustione rendono oggi possibile un uso più razionale delle biomasse legnose, con una drastica riduzione delle emissioni inquinanti e soprattutto un aumento dell'efficienza energetica fino a valori superiori all'85% (Castellazzi *et al.*, 2002a), non solo in sistemi di grandi dimensioni ma anche in impianti per il riscaldamento domestico e di piccole comunità. Questi interessanti sviluppi sono stati resi possibili anche dall'utilizzo non dei tradizionali ceppi ma di legno cippato o compresso in pellets, che oltre ad una migliore combustione permettono anche una automatizzazione degli impianti. Ad oggi, secondo uno studio dell'Aper (2010), in Italia sono attivi circa 700 impianti corrispondenti a una potenza installata di circa 1.500 MW, quasi egualmente ripartita tra bioliquidi, biomasse solide e biogas, pur con una netta prevalenza del biogas in termini di numero di impianti (Fig. 1.13).

Figura 1.13: composizione (n° e potenza) impianti a biomasse in Italia



Fonte: APER 2010

In particolare gli impianti che allo stato attuale utilizzano biomasse solide, per produrre energia termica e/o elettrica si possono suddividere in tre grandi categorie:

- a) piccoli impianti domestici, che hanno rappresentato fino ad oggi il settore portante della bioenergia nazionale;
- b) centrali di teleriscaldamento;
- c) centrali termoelettriche.

Il censimento condotto da Itabia nel 2008 ha evidenziato l'esistenza in Italia di circa 130 centrali di teleriscaldamento, a servizio di utenze diffuse sul territorio e gestite da una pluralità di operatori. La capacità delle centrali considerate raggiunge complessivamente circa 370 MWt; esse sono dotate di 172 caldaie, per una rete totale di circa 700 km e un numero di utenze allacciate superiori alle 14.000 unità. Il consumo complessivo di biomasse utilizzate, per i dati resi disponibili, si aggira su circa 300.000 t/anno, dato sottostimato in quanto di parecchie centrali non è stato possibile reperire dati a consuntivo della stagione invernale 2007-2008. Le centrali censite sono diffuse soprattutto nelle regioni del Nord Italia, per ovvie ragioni climatiche. Risultano maggiormente concentrate in Valle d'Aosta e in Piemonte (13 centrali), in Lombardia (12 centrali), in Trentino-Alto Adige (73 centrali) e in Friuli – Venezia Giulia (15 centrali). Le restanti 15 centrali sono distribuite tra Veneto, Liguria, Emilia Romagna, Toscana, Marche, Campania e Basilicata. In particolare, ben 35 centrali di teleriscaldamento dell'Alto Adige aderiscono al Consorzio Biomassa Alto Adige, mentre altre 12 centrali sono operative sul territorio provinciale.

Le centrali termoelettriche attualmente operative in Italia sono 25, a prevalente produzione di energia elettrica, di cui 19 ad esclusiva produzione di energia elettrica, mentre in 6 centrali l'assetto energetico è di tipo cogenerativo, con produzione combinata di energia elettrica e di vapore, quest'ultimo utilizzato per usi industriali e per il teleriscaldamento urbano.

Da quanto esposto appare evidente che le biomasse occupano un posto di tutto rilievo tra le fonti rinnovabili di energia, ma se ci si ferma agli aspetti puramente energetici, non si coglie interamente il potenziale intrinseco di questa risorsa naturale. In particolare, le implicazioni di carattere ambientale delle biomasse sono molteplici e di varia natura, a livello "globale", comprensoriale e aziendale. Uno degli aspetti più importanti ed attuali, è la protezione del territorio. Le biomasse hanno infatti l'importante caratteristica di essere strettamente connesse al territorio di origine rappresentando una ricchezza locale. Il loro utilizzo rappresenta in molti casi una fonte di sviluppo locale offrendo nuove opportunità di lavoro e imprenditoriali. Inoltre l'uso della biomassa di scarto (es. scarti di potature) contribuisce ad alleviare il problema ambientale dello smaltimento di questi ultimi, fornendo oltretutto opportunità di

ulteriore introito per l'agricoltore. Nell'ambito dei programmi nazionali e internazionali volti alla riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra, si riconosce al settore forestale e a quello agricolo un ruolo di primaria importanza nel regolare il ciclo del carbonio e quindi nel bilancio della CO₂. Boschi e colture possono contribuire più di qualsiasi altra fonte biologica ad una sottrazione netta di CO₂ atmosferica per effetto di un'azione combinata di immobilizzazione diretta e di sostituzione dei combustibili fossili. Infatti le biomasse, soprattutto di origine forestale, si possono considerare dei veri e propri serbatoi di carbonio, che attraverso la fotosintesi viene sottratto all'atmosfera sotto forma di CO₂ e "immagazzinato" per tempi anche molto lunghi nelle fibre vegetali o nella sostanza organica del suolo. Per la produzione di energia in sostituzione delle fonti fossili, come già detto, il bilancio delle emissioni di CO₂ è pressoché nullo (ad eccezione di una quota di energia non rinnovabile impiegata nei processi produttivi) in quanto viene rilasciata a seguito della combustione la stessa quantità di anidride carbonica fissata attraverso la fotosintesi.

La disponibilità di biomassa sul territorio nazionale

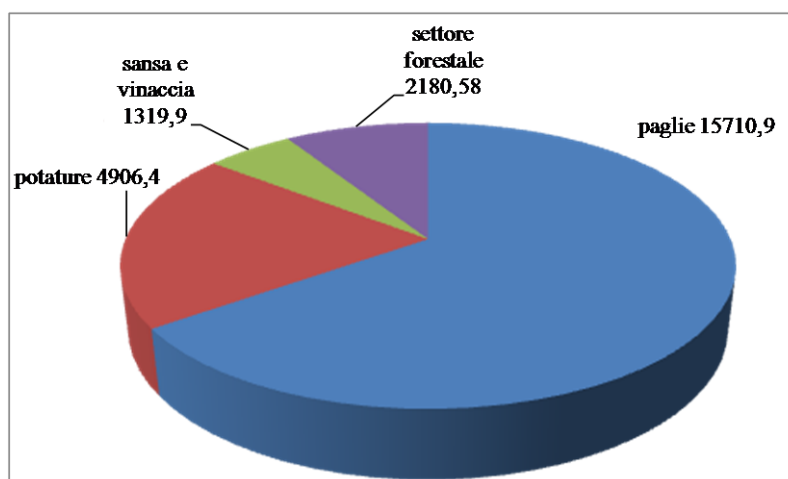
Per sua natura la biomassa è una risorsa distribuita sul territorio; parte di questa risorsa è in qualche modo già "disponibile" in quanto costituita da residui di vario tipo dell'attività primaria e secondaria; altra potrebbe invece essere prodotta da specifiche attività di coltivazione. La valutazione della disponibilità nazionale di biomasse è resa difficoltosa non solo dall'attuale carenza di dati ufficiali attendibili (e questa difficoltà la si ritrova anche nella valutazione degli utilizzi), ma anche da un punto di vista concettuale, quando si deve ben specificare se il significato della parola "disponibilità" vada inteso come disponibilità totale di biomassa presente sul territorio (disponibilità potenziale), o come disponibilità effettivamente ed economicamente recuperabile.

Nell'ambito dei residui agricoli, è la loro raccolta organizzata che non appare proponibile in aziende di piccole dimensioni perché il basso valore del prodotto non giustifica il costo d'acquisto delle macchine. Dalla fine degli anni '70 l'industria meccanica nazionale ha iniziato a sperimentare macchine per la raccolta delle potature, ma solo negli scorsi anni si è registrato un timido impegno commerciale di alcune ditte derivante da una certa richiesta di fasciname o ballette di potature destinate soprattutto ai forni.

Per quanto riguarda la paglia di cereali, di cui vi è ampia disponibilità sul territorio nazionale, è noto come una parte di essa, valutabile in circa il 40-45%, sia destinata ad usi zootecnici

(lettiera per i bovini per la conseguente formazione di letame da utilizzare maturo come ammendante nei terreni agricoli). Una quota marginale di paglia viene reinterrata; la parte rimanente è frequentemente distrutta in campo a mezzo fuoco con l'effetto di sterilizzare la parte superficiale del terreno e lasciare comunque sul terreno la cenere che, però, viene in buona parte dispersa dagli agenti meteorici.

Figura 1.14: potenziali di biomassa disponibile nel territorio nazionale (kton)



Fonte: censimento potenziale energetico biomasse- Enea, 2009b

Anche per le potature della vite (sarmenti), dell'olivo e degli alberi da frutto (legno e frasche), che vengono effettuate con turni variabili in funzione della tipologia della coltivazione, si pone il problema dell'eliminazione di tale materiale dai filari: questo viene infatti generalmente raccolto e portato a bordo campo per poi essere bruciato o utilizzato; la parte costituita da materiale legnoso trova spesso reimpiego come legna da ardere mentre la parte più minuta è scarsamente utilizzata. Il reinterro delle potature, operato generalmente da trinciatrici che sminuzzano le biomasse e le mescolano con la parte superficiale del terreno, ha il vantaggio di apportare sostanza organica al terreno (con problematiche simili alla paglia) e lo svantaggio di lasciare nel suolo sia le eventuali sostanze chimiche utilizzate nella lotta antiparassitaria, sia gli eventuali parassiti vegetali e/o animali presenti sulle potature stesse. Anche in tal caso quindi si tratta di una pratica da valutare con attenzione. Va comunque ricordato che la disponibilità di biomasse residue, sia erbacee sia arboree, è fortemente influenzata dalle tecniche agronomiche adottate nelle diverse aree italiane che possono essere anche notevolmente differenti e che meritano una più approfondita analisi a livello regionale.

La disponibilità di biomassa da destinare ad uso energetico può dare un'idea sulle potenzialità del settore, ma lascia comunque ampi margini di aleatorietà viste le tante variabili che entrano in gioco. Uno studio utile in tal senso è stato avviato dall'Enea (2009b) con l'elaborazione di un "Atlante delle Biomasse". La banca dati contiene informazioni a livello provinciale circa i quantitativi annuali di biomassa disponibile in Italia (Fig. 1.14). Inoltre negli ultimi anni, in seguito alla crescente richiesta di biocombustibili da destinare ad impianti funzionanti a biomasse di recente costruzione, sono stati effettuati diversi studi territoriali sulla disponibilità di scarti per uso energetico; tali studi ricadono però su ambiti locali frammentari, non sono riconducibili ad una metodologia uniforme, e non è possibile quindi costruire un quadro organico. Infatti con la progressiva crescita dell'attenzione verso le FER e la delega alle Regioni delle competenze in materia di pianificazione energetica diverse regioni, province e comunità montane (Gerardi V., 2000; Arsia, 2004) hanno commissionato ad enti, università, soggetti privati studi di potenziale di biomasse nell'ambito dei vari piani e programmi. Un lavoro recente (Colonna & Croce, 2009) ha identificato ben 40 stime di potenziale di biomasse realizzate in Italia e ne ha raccolte ed esaminate 21 cercando di valutarne analiticamente le finalità, gli ambiti territoriali, le tipologie di biomasse e la metodologia di stima utilizzata. Ne è emerso che il termine potenziale viene utilizzato da taluni senza chiarirne esattamente il significato ed inoltre che gli assunti ed i parametri sui quali il calcolo si basa non sono sempre resi immediatamente espliciti; è quindi difficile valutare il significato e comparare i numeri che vengono di volta in volta proposti. Questo aspetto, non secondario, fa sì che per alcune aree del Paese, dove nel tempo sono stati realizzati più studi di potenziale, i dati presentino una variabilità molto ampia la cui portata non è immediatamente comprensibile. Pur senza voler entrare nel merito, per il quale si rimanda alle fonti, i numeri sono molto eterogenei e risulta che nel breve volgere di alcuni anni, nel medesimo contesto regionale, un potenziale si raddoppia (scarti agricoli) o si dimezza (legna) e questo non è certo imputabile alle variazioni delle superfici agricole o forestali, le cui dinamiche sono lente nel tempo, ma piuttosto agli assunti di base ed ai parametri utilizzati nel calcolo dai diversi soggetti. Inoltre vi è quindi una grande incertezza nella valutazione dei riusi aziendali e locali che spiega buona parte delle discrepanze tra studi diversi. Il problema si pone quando non tutte le ipotesi ed i parametri di calcolo sono esplicitati come succede in molti studi di cui spesso vengono pubblicati solo gli elementi principali. In sintesi la stima del potenziale è prima di tutto un inventario della biomassa residuale prodotta dalla vegetazione spontanea (boschi) e/o coltivata (colture) e/o dagli allevamenti (reflui) e/o dal settore agroindustriale (scarti) e poi per sottrazioni successive, realizzate tramite parametri di calcolo condivisi e

specifici per il territorio, si giunge a definire quella che è la disponibilità netta. Inoltre la disponibilità netta è un dato rilevante ma non sufficiente in quanto non è detto che una biomassa disponibile presso le aziende possa essere convenientemente raccolta.

D'altro canto studi e ricerche puntali consentirebbero di valutare al meglio le effettive potenzialità di un territorio permettendo di programmare azioni concrete volte all'effettivo sfruttamento della risorsa in armonia con le peculiari caratteristiche locali.

Alla luce delle considerazioni fatte, si propone in questo lavoro una stima della disponibilità di biomassa in un territorio caratterizzato dalla presenza di un'area protetta.

2 Il territorio oggetto di studio

“Dalla valle di Baccano partono due strade minori che portano ai laghi di Stracciapappe e Martignano.(...) La vista di questi due laghetti vale l'improbabile fatica per raggiungerli: i luoghi silenziosi e solitari hanno qualcosa di solenne”

Dal diario di viaggio di G. Dennis - archeologo e scrittore inglese-1842

2.1 Il parco

L'area oggetto di studio coincide con il territorio del Parco Naturale Regionale di Bracciano-Martignano (Fig. 2.1). Ultimo nato tra i parchi del Lazio è stato istituito il 25 novembre 1999 con L.R. n. 36, ed è gestito (art. 5 della succitata legge) da un Ente regionale. L'Ente Parco è un Ente di diritto pubblico dotato di autonomia amministrativa.

Il Parco si estende per 16.682 ettari sul territorio dei comuni di Anguillara, Bracciano, Campagnano di Roma, Manziana, Roma, Trevignano, Bassano romano, Monterosi, Oriolo romano e Sutri, investendo parte della provincia di Roma e di Viterbo (Tab. 2.1)

Tabella 2.1: superficie comunale e superficie comunale compresa nell'area Parco

Comune	Sup. comunale (ha)	Sup. comunale nel Parco (ha)	Sup. comunale nel Parco (%)
Anguillara	7.491	3.780	50,5
Bracciano	14.252	5.044	35,4
Campagnano	4.607	652	14,2
Manziana	2.379	89	3,7
Roma	128.530	1.748	1,4
Trevignano	3.944	3.585	90,9
Bassano	3.746	398	10,6
Monterosi	1.075	90	8,4
Oriolo	1.923	226	11,8
Sutri	6.085	1.070	17,6
Totale		16682	

Fonte: Regione Lazio

I Comuni di Anguillara, Bracciano e Trevignano sono quelli con la maggior percentuale di territorio interessato dai confini dell'area protetta. Il 24% del territorio del Parco si estende all'interno del comune di Trevignano, in cui l'area protetta occupa circa il 90% del territorio amministrativo totale (Fig. 2.2)

Figura 2.1: inquadramento territoriale dell'area

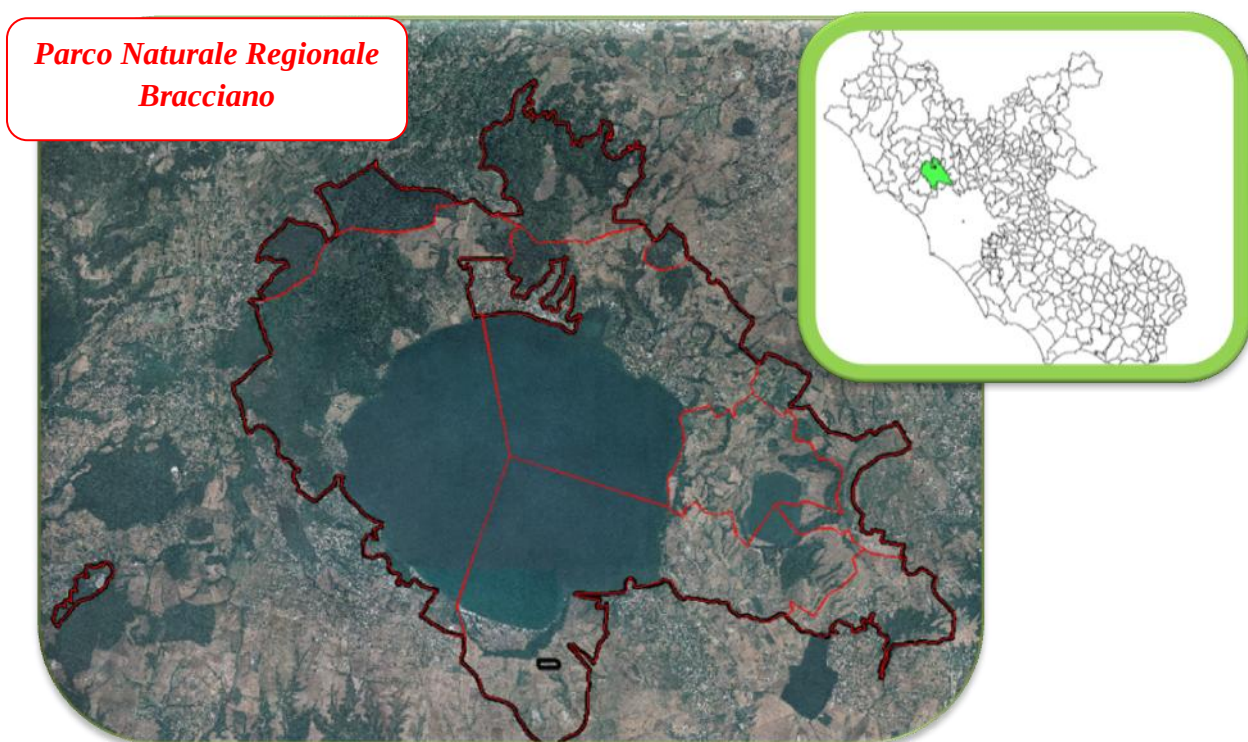
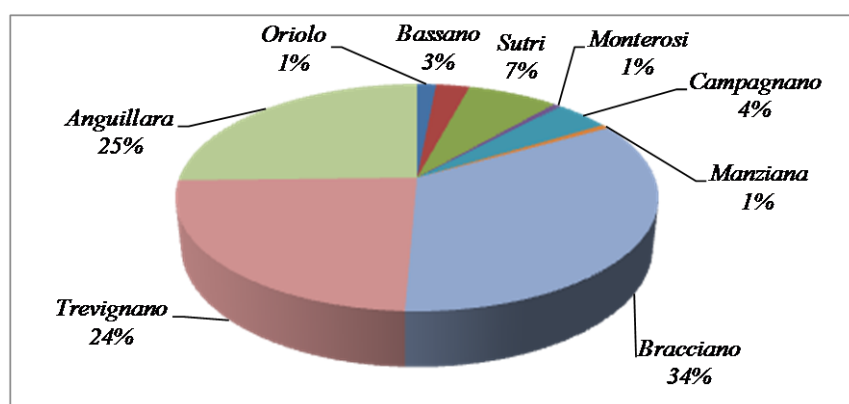


Figura 2.2: ripartizione percentuale dell'area Parco relativamente ai confini amministrativi comunali



La morfologia del territorio è decisamente influenzata dalla presenza dei laghi di Bracciano e di Martignano. Il primo rappresenta la depressione di maggior estensione, ha forma quasi circolare con un perimetro di trentuno chilometri. Il confine che delimita la depressione si eleva anche notevolmente e ad esso appartengono le alture più importanti della regione vulcanica sabatina, come la Punta di Rocca Romana sopra Trevignano (circa 612 metri) e il Monte Termini a nord ovest di quest'ultima (590 metri). Il recinto è interrotto presso il paese di Anguillara dove si trova il punto di maggiore depressione, da cui esce l'emissario del lago, l'Arrone, fiume che raggiunge il Tirreno in prossimità di Maccarese. Il lago di Martignano invece si trova a quasi 207 m s.l.m, quindi a 43 metri sopra quello di Bracciano. Il lago occupa una conca ellittica con asse maggiore disposto in direzione nord-sud. Le pareti del lago sono circondate a nord-ovest e a sud da alte pareti ripidissime ed in qualche punto quasi a picco (Ventriglia, 1989).

2.2 Caratteristiche territoriali

Aspetti geomorfologici, pedologici e idrogeologici

L'area rientra nel Distretto Vulcanico Sabatino, provincia vulcanica tosco-laziale di cui fanno parte anche i distretti vulcanici Vulsino, Cimino-Vicano, Tolfa-Ceriti-Manziana, e dei Colli Albani, in una fascia compresa tra la catena appenninica e l'attuale costa tirrenica. Questa è caratterizzata dalla presenza di numerosi centri eruttivi localizzati intorno alla depressione vulcanico-tettonica attualmente occupata dal Lago di Bracciano.

Il Distretto Vulcanico Sabatino inizia la sua attività oltre 600.000 anni fa (De Rita, 1993), contemporaneamente agli altri distretti alcalino-potassici del Lazio. Il panorama su cui edificano i vari centri esplosivi del distretto è quello di una vasta area pianeggiante largamente occupata dai sedimenti argilloso-sabbiosi del Plio-Pleistocene, limitata ad occidente dai rilievi sedimentari dei Monti della Tolfa e dai domi acidi dei distretti Tolfetano-Cerite-Manziate, la cui attività era da poco terminata (De Rita *et al* 1993). Verso oriente la vasta area è limitata dai rilievi sedimentari meso-cenozoici del Monte Soratte e più a sud dai monti Cornicolani.

La formazione degli attuali specchi lacustri è dovuta al collasso vulcano-tettonico dell'area, che ha provocato la formazione di profonde depressioni, alcune delle quali ormai bonificate, come quella di Stracciapappe e Baccano (il primo prosciugato in età romana mentre il

secondo, presente fino al XIX sec., è stato prosciugato mediante una galleria di drenaggio rivolta verso il lago di Bracciano).

L'attività vulcanica della Regione Sabatina si è esplicata essenzialmente con una successione di eventi esplosivi più o meno violenti, non mancano però anche numerosi e vistosi indizi di un'intensa attività effusiva. Al termine degli eventi vulcanici in più parti della regione si sono verificate venute di vapori e gas idrotermali che hanno portato, localmente, a una profonda trasformazione delle rocce preesistenti tanto laviche quanto piroclastiche. Molto spesso queste venute continuano tuttora con la emissione di acque ricche di CO₂ e H₂S. Una tra le più importanti manifestazioni di questo genere si ha presso la Caldara di Manziana (Ventriglia, 1989). Esaminando la Regione Vulcanica Sabatina si osserva che le manifestazioni più direttamente collegabili con il vulcanismo di questo apparato sono generalmente a chimismo "basico". Esistono comunque anche formazioni a chimismo "acido" che si limitano però ad affioramenti su Monte Calvario, Monte San Vito e nella zona di Manziana. Le manifestazioni invece più direttamente collegabili con l'attività della Regione (basiche) sono rappresentate in modo prevalente da materiali piroclastici, anche se non mancano numerosi affioramenti di lave e persino veri propri campi lavici (Ventriglia, 1989). Le rocce di origine effusiva presenti nel comprensorio dei Monti Sabatini contengono alti tenori di materiali primari indifferenziati (vetri vulcanici). Lulli (1971) descrivendo l'ambiente vulcanico sabatino nota come "alle ripide pendici dei crateri di esplosione, delle caldere o dei coni si alternino le superfici piane dei fondovalle lacustri o fluviali, e alle superfici lievemente ondulate dei tufi teneri, incise e modellate dall'azione degli agenti erosivi, facciano riscontro le superfici piatte e profondamente incise degli effusi più compatti, nei quali le variazioni di pendenza sono decisamente più brusche". E' evidente pertanto che in questo territorio la distribuzione dei tipi vegetazionali sia influenzata non solo dall'altitudine, ma anche dalla giacitura, esposizione e pendenza del terreno; fattori che combinati tra loro determinano spesso l'unicità di alcune conformazioni e associazioni presenti nell'area Parco.

Morfologia e clima influiscono, insieme al substrato litologico, sui suoli formati sulle vulcaniti sabatine. Si tratta in generale di suoli sciolti, profondi, di elevata fertilità, in grado di ospitare fitocenosi esigenti ed evolute. La presenza di vegetazione forestale condiziona i caratteri del suolo più di quanto avvenga in direzione opposta. Poiché si tratta di suoli facilmente erodibili, laddove la copertura forestale è stata eliminata per dare spazio ad attività agricole e zootecniche, sono presenti suoli superficiali, poco evoluti (Regosuoli). In sintesi, secondo Lulli (1971), sotto la protezione del bosco si possono riscontrare tre principali tipi di suolo:

- suoli bruni eutrofici, che si sono evoluti su formazioni piroclastiche incoerenti e poco cementate in condizioni di aridità estiva più accentuata, e sono diffusi a quote basse prevalentemente nel settore orientale del Parco;
- suoli bruni poco lisciviati, che derivano dai substrati maggiormente cementati del settore nord-occidentale del Parco, alle quote intermedie e quindi in condizioni di moderata aridità estiva;
- suoli bruni lisciviati e andosuoli, che si originano da piroclastiti più o meno incoerenti, alle quote più elevate, in condizioni di maggiore oceanicità del clima.

Per quanto riguarda la permeabilità, tutti i tufi, prevalentemente incoerenti, presenti nel Bacino del Lago di Bracciano (che comprende Manziana, Oriolo, Monte Raschio, Trevignano, Anguillara, Bracciano e Pisciarelli), sono da mediamente a poco permeabili per porosità, mentre le varie colate di lava sono mediamente permeabili per fratturazione. Nel complesso quindi i terreni sono permeabili e alimentano il lago sia con le acque scorrenti in superficie sia con quelle che penetrano nei rilievi sottostanti e raggiungono la falda acquifera che a sua volta alimenta il lago (Ventriglia, 1989).

Contrariamente a quanto avvenuto in altre aree, i rilievi del complesso sabatino sono di altezza molto modesta. Sono stati comunque individuati tre alti piezometrici: l'alto di Monte Termine, Monte Calvi, Monte Rocca Romana; l'alto di Monte s. Vito, Manziana, Oriolo; l'alto di Martignano, Monte S. Andrea (Lombardi & Giannotti, 1969; Camponeschi & Lombardi, 1969; Acquaital, 1997); nel loro insieme essi determinano una circolazione rivolta prevalentemente verso:

- il lago di Bracciano,
- il fiume Tevere compreso tra il Fosso della'Acqua Traversa e il Fosso di San Martino,
- il fiume Mignone posto a ovest del lago di Bracciano.

Aspetti climatici e fitoclimatici

La Carta del fitoclima del Lazio (Blasi, 1994) mostra come il territorio del Parco rientri in gran parte nella Regione Mediterranea di transizione, in particolare nell'unità fitoclimatica definita da un termotipo mesomediterraneo medio o termocollinare e da un ombrotipo subumido/umido inferiore. La presenza dei due laghi, insieme alla morfologia del territorio, contribuisce ad attenuare sui versanti interni delle caldere gli estremi termici e le condizioni di

aridità estiva, ciò accomuna l'area del Parco ai vicini versanti orientali e settentrionali dei Monti della Tolfa. La parte più settentrionale del Parco, posta a nord del Monte Rocca Romana e rientrando nei comuni di Sutri e Bassano Romano, è invece compresa nella Regione Temperata ed appartiene all'unità fitoclimatica definita da un termotipo collinare inferiore/superiore e da un ombrotipo subumido superiore/umido inferiore (Tab. 2.2). Si tratta di un'area posta a una quota media più alta e con morfologia che vede il continuo alternarsi di rilievi e valloni che favoriscono maggiori precipitazioni e ristagno di umidità atmosferica, soprattutto nel periodo estivo, come dimostrano i valori pluviometrici della stazione di Sutri (Tab. 2.3). Queste caratteristiche climatiche più oceaniche si estendono a tutta l'area occupata dalle faggete termofile del Monte Termine e di Monte Raschio. Secondo la classificazione fitoclimatica di Pavari, l'area del Parco rientra nella zona del *Lauretum* con siccità estiva, sottozona media e fredda, e in quella del *Castanetum*. (Portoghesi et al., 2006).

Tabella 2.2: regioni fitoclimatiche del Parco

<i>Regione</i>	<i>Principali aspetti climatici</i>	<i>Vegetazione prevalente</i>
Mediterranea di transizione, mesomediterraneo medio o termo collinare. Ombrotipo subumido superiore/umido inferiore.	Precipitazioni abbondanti. Aridità estiva non molto pronunciata	Cerrete con roverelle, leccete, castagneti, lembi di boschi mesofili
Temperata, termotipo collinare inferiore/superiore. Ombrotipo subumido superiore/umido inferiore.	Aridità estiva debole a luglio agosto. Freddo prolungato da ottobre a maggio.	Cerrete, querceti misti e castagneti. Potenzialità per faggete termofile.

Fonte: Blasi 1994

Le condizioni climatiche medie dell'area possono essere descritte con i parametri termopluviometrici ampiamente disponibili relativi alla stazione Bracciano (Fig. 2.3). Per un miglior inquadramento dell'area si propone il confronto di dati riferiti alle serie storiche disponibili in letteratura e relativi a diverse stazioni metereologiche presenti all'interno dell'area Parco o in zone linitrofe (Tab. 2.3). Una prima grossa differenza si nota confrontando proprio i dati delle precipitazioni: i valori medi annui a Oriolo sono pari a 1.405

mm, mentre per la stazione di Bracciano si scende a 1.143 mm. La differenza tra le due stazioni può essere attribuita non solo alle differenze di quota ma anche di esposizione.

Tabella 2.3: principali parametri climatici di stazioni meteorologiche interne o limitrofe al Parco

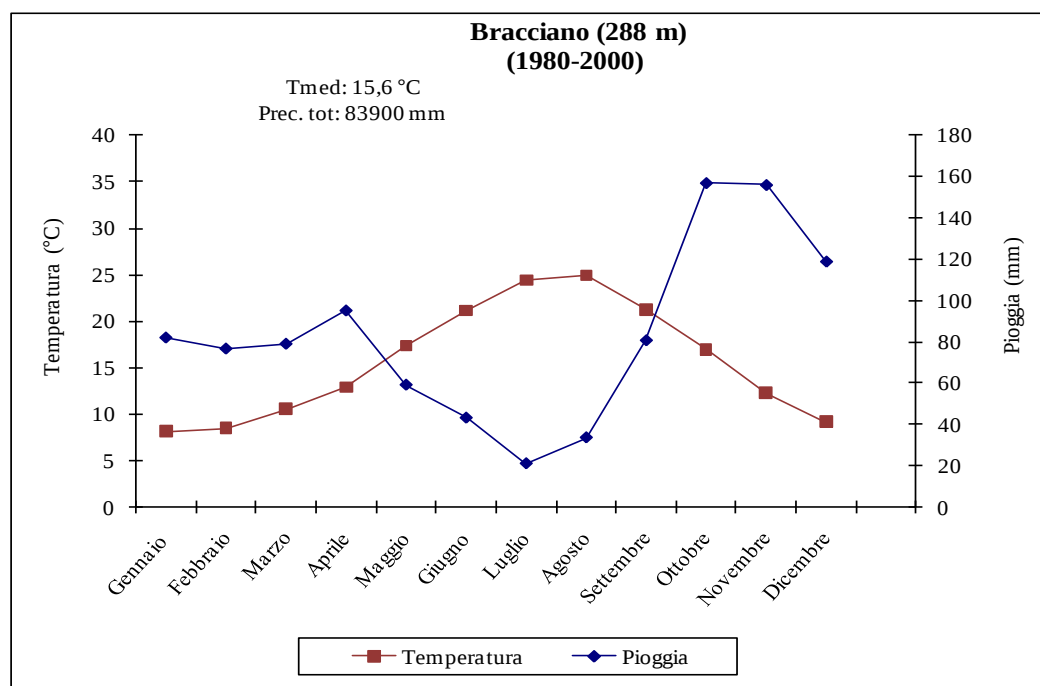
	Bracciano (1)	Oriolo(2)	Sutri (3)	Vigna di Valle (1)
Altitudine (m s.l.m.)	228	420	291	265
Temperatura media annua (°C)	15,2	n.d.	14,5	14,5
Precipitazioni medie annue (mm)	1.002,6	1.405	1.107	991

(1) Valori medi del ventennio 1980-2000

(2) Valori medi di 22 anni relativi al trentennio 1921 –1950 (da Lulli 1971, modificato).

(3) Valori medi del trentennio 1955 –1985 (da Blasi 1994, modificato).

Figura 2.3: diagramma termopluviometrico della stazione di Bracciano, serie storica 1980-2000



Fonte: proprie elaborazioni su dati Regione Lazio, Ufficio Idrografico e Mareografico

Aree di pregio ambientale comprese nel Parco

Le particolari caratteristiche climatiche e pedologiche dell'area hanno influenzato la presenza di specie e habitat di elevato valore naturalistico. La necessità di salvaguardare tale patrimonio ha portato all'istituzione di due monumenti naturali prima ancora della nascita del Parco. Si tratta della "Caldara di Manziana", primo monumento naturale istituito nella Provincia di Roma, e delle "Pantane e Lagusiello". Questi sono stati istituiti rispettivamente nel 1988 e nel 1997, tutelando così già da tempo alcuni tra gli elementi paesaggistici e geologici più tipici e singolari del territorio.

In tempi più recenti si è assistito inoltre all'individuazione e all'istituzione anche della ZPS³ e diversi SIC⁴, i cui limiti rientrano totalmente o in parte nell'area Parco (Tab. 2.4), e la cui presenza enfatizza ancor più l'importanza di tale paesaggio.

Tabella 2.4: SIC inclusi nel Parco

Denominazione	Sup. tot. (ha)	Sup. all'interno del parco (ha)	% di area Parco interessata dal SIC
SIC-Faggeta di Monte Raschio	712,0	700,6	4,2
SIC- Caldara di Manziana	90,4	90,4	0,5
SIC- Lago di Bracciano	5.863,9	5.863,9	35,3
<i>Totale</i>	<i>6.666,3</i>	<i>6.654,9</i>	<i>40,1</i>

Fonte: proprie elaborazioni su base dati "Piano Gestione del Parco", schede Rete Natura 2000

La superficie complessivamente occupata dai SIC all'interno del Parco è di 6.654 ha, pari al 40% dell'area protetta. Va precisato inoltre che l'intera superficie del Parco ricade all'interno della ZPS "Comprensorio Bracciano-Martignano", che con i suoi 19.554 ha di superficie ha un'estensione tale per cui sembra ricalcare i confini stessi del Parco, oltrepassandoli in alcuni tratti solo per poche migliaia di ettari. A questa ZPS viene riconosciuta una notevole importanza soprattutto per la presenza di ittiofauna ed elevata ricchezza di avifauna svernante. Al suo interno si collocano inoltre i SIC "Lago di Bracciano" e "Faggeta di Monte Raschio". Infine il terzo SIC presente nel Parco è il già menzionato "Caldara di Manziana" che pure rientrando nell'area Parco si trova immerso in una diversa ZPS. Nella tabella 2.5 si riporta una

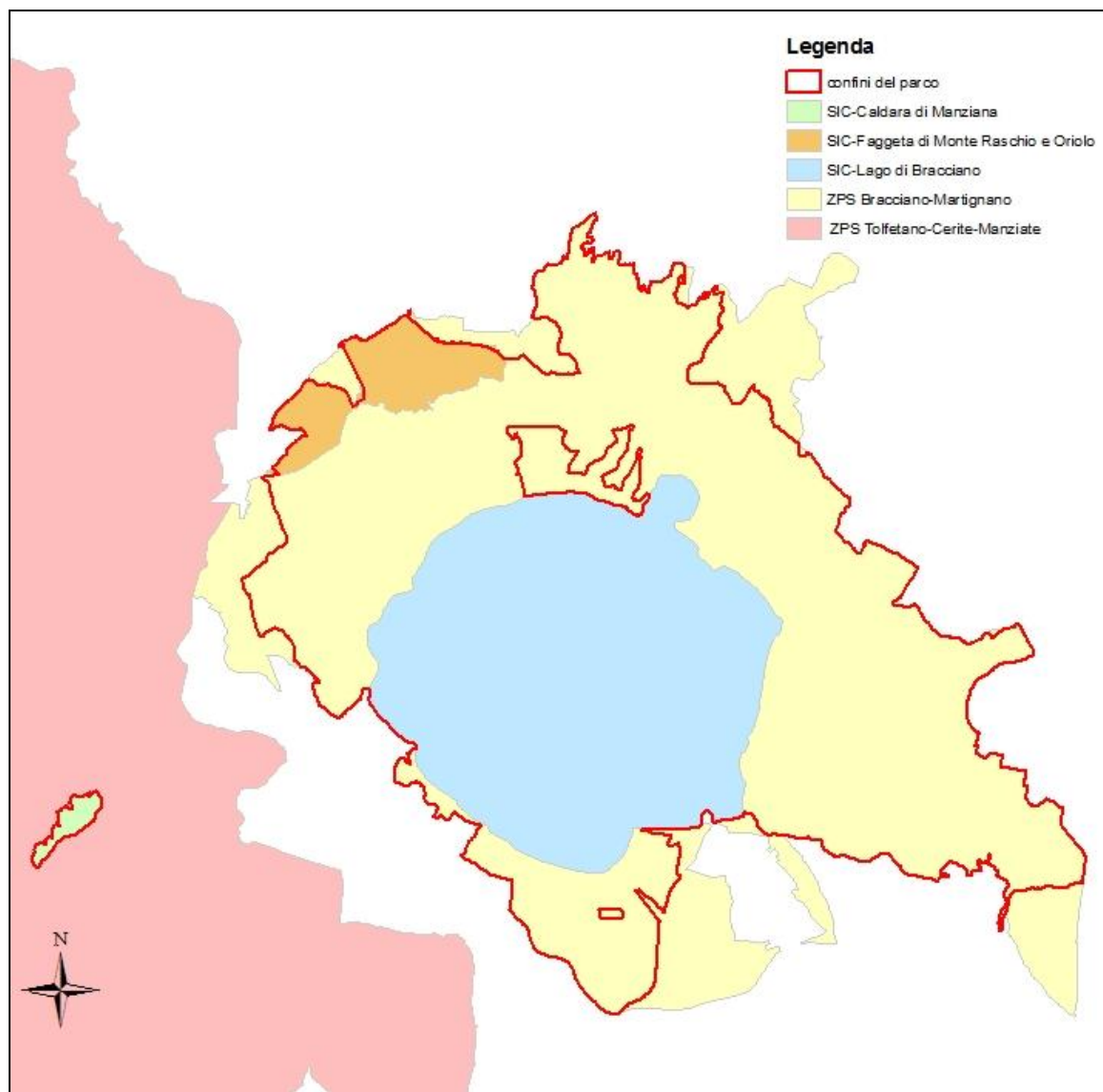
³ ZPS: Zone di Protezione Speciale, definite in base alla direttiva 79/409/CEE (Direttiva Uccelli) per la conservazione di aree destinate alla tutela di habitat delle specie di avifauna minacciate.

⁴ SIC: Sito di Importanza Comunitaria, definito in base all'art. 1 della direttiva 92/43/CEE (Direttiva Habitat) per la conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e fauna selvatiche.

breve descrizione dei siti *Natura 2000* qua citati, mentre nella figura 2.4 viene rappresentata la loro distribuzione all'interno del Parco.

La presenza dei suddetti siti avvalorata l'importanza naturalistica e paesaggistica dell'area e sottopone la zona a ulteriori restrizioni e vincoli dei quali bisogna necessariamente tener conto in un'ottica di gestione sostenibile.

Figura 2.4: estensione dei SIC e ZPS all'interno del Parco



In particolare la faggeta termofila è il tipo di formazione forestale di maggior pregio naturalistico del Parco. E' classificata come habitat prioritario (9210, Faggeti degli Appennini con *Taxus* e *Ilex*) ai fini della direttiva Habitat, ed occupa la maggior parte del SIC IT6010034. Il faggio sui Monti Sabatini si trova a vegetare a quote particolarmente basse, al

di sotto dei limiti altitudinali tipici a queste latitudini. La presenza in quest'area è legata alle particolari condizioni pedoclimatiche. I terreni profondi e ricchi d'acqua e l'elevata umidità atmosferica dovuta alla presenza del lago e alla morfologia del territorio attenuano le condizioni di aridità estiva. Tutte le faggete del Parco possono essere inquadrare nell'associazione AquifolioFagetum (Scoppola e Caporali, 1998).

Tescarollo e Pignatti (manoscritto senza data) hanno segnalato nella faggeta del Monte Raschio la presenza di specie poco comuni nel Lazio. Scoppola e Caporali (1996) hanno evidenziato che la stessa faggeta è caratterizzata da una elevata presenza di specie rizomatose e lianose, a testimonianza di una certa fruizione turistica e della presenza di aperture nella copertura arborea.

Tabella 2.5: descrizione sintetica dei Siti Natura 2000 compresi nell'area Parco

Nome	ZPS "Comprensorio Bracciano-Martignano"	SIC "Lago di Bracciano"	SIC "Faggete di Monte Raschio e Oriolo"	SIC "Caldara di Manziana"
Codice	IT6030085	IT6030010	IT6010034	IT6030009
Descrizione	Importante per ittiofauna e l'avifauna acquatica	Ampio ecosistema lacustre importante per l'ittiofauna e l'avifauna acquatica. In particolare è presente una elevata ricchezza di avifauna svernante.	Importante sito forestale mesofilo con specie di mammiferi significative. Habitat prioritari e specie endemiche.	Ambiente caratteristico con sorgenti solfuree in formazioni vegetazionali di tipo mesofilo con betulle.
Habitat	3150 Laghi eutrofici naturali con vegetazione a <i>Magnopotamion</i> o <i>Hydrocharition</i> 3140 Acque oligo-mesotrofe calcaree con vegetazione bentica a <i>Chara spp</i> 9260 Foreste <i>Castanea sativa</i> 9210* Faggeti degli Appennini con <i>Taxus</i> e <i>Ilex</i>	3150 Laghi eutrofici naturali con vegetazione a <i>Magnopotamion</i> o <i>Hydrocharition</i> 3140 Acque oligo-mesotrofe calcaree con vegetazione bentica a <i>Chara spp</i>	9260 Foreste <i>Castanea sativa</i> 9210* Faggeti degli Appennini con <i>Taxus</i> e <i>Ilex</i>	91EO Foreste alluvionali residue di <i>Alnus glutinosa</i>

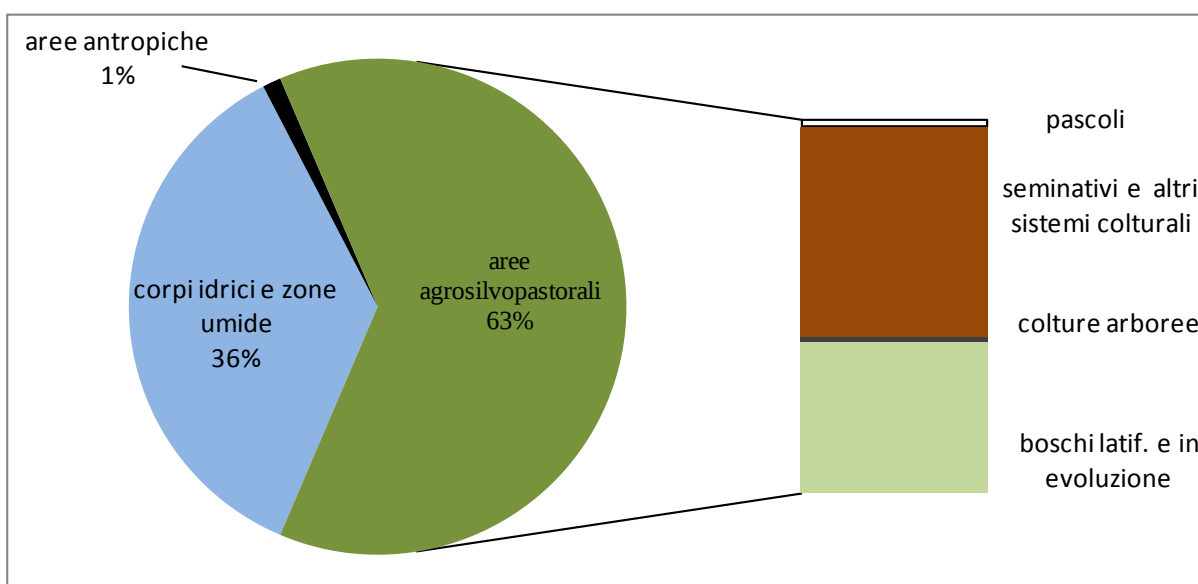
Fonte: schede Rete Natura 2000 redatte da Ministero dell'Ambiente e dalla Regione Lazio per conto della Comunità Europea

2.3 Uso del suolo

Il Parco di Bracciano Martignano presenta una notevole varietà ambientale. L'imponente presenza dei due laghi, quello di Martignano con i suoi 230 ha di superficie, e quello di Bracciano esteso per 5.650 ha, costituisce un elemento significativo per l'intero territorio. Alla ricchezza e varietà degli ecosistemi lacustri si aggiunge quella legata alla presenza di una ricca successione vegetazionale che dalla macchia mediterranea si spinge sino alla faggeta. Corpi idrici, boschi ma anche seminativi, costituiscono le categorie maggiormente rappresentative dell'utilizzo del suolo nell'area protetta.

Complessivamente il 63% del Parco è interessato da aree agrosilvopastorali. L'incidenza delle superfici occupate dai seminativi e da aree boscate denota la forte vocazione del territorio alla presenza di attività umane che nel tempo hanno modificato il paesaggio. (Fig 2.5)

Figura 2.5: ripartizione percentuale dell'uso del suolo



Fonte: proprie elaborazioni su base dati Corine Land Cover 2000 Regione Lazio

Il Parco si caratterizza anche per la sua estrema vicinanza alla città di Roma, vicinanza che negli anni ha favorito un sensibile aumento demografico dei centri abitati più prossimi alla capitale. Pertanto nel rispetto della conservazione dell'ambiente sono state individuate la zona a e la zona b all'interno dell'area Parco, nelle quali vengono adottate diverse misure di restrizione soprattutto nei riguardi dello sviluppo edilizio. I centri urbani dei tre principali comuni lacuali vengono esclusi dai confini dell'area protetta, ma per la loro caratteristica

posizione sono considerati di fatto parte integrante del Parco stesso. Di importanza rilevante è la presenza degli imponenti viali alberati, in molti casi centenari, che costituiscono un'importante risorsa sia paesaggistica che ambientale, costituendo dei veri e propri corridoi tra le zone più urbanizzate e i boschi lacustri.

Foto 2.1: ortofoto 2005: viale alberato R. Belloni, comune di Anguillara S.



2.4 Agricoltura

Ruolo dell'agricoltura nelle aree protette

Nel nostro Paese molto spesso la creazione di aree protette e parchi è stata posta in alternativa all'uso agro-zootecnico del territorio. Tuttavia nel tempo il concetto di tutela ambientale è andato evolvendosi rispetto al rigido sistema vincolistico e protezionistico previsto per i primi parchi nazionali, trasformandosi in un approccio più attivo e propositivo (Gambino, 1991).

L'agricoltura ha influenzato, direttamente o indirettamente gli ecosistemi, modificandone gli equilibri evolutivi naturali e creandone di nuovi. Gli agroecosistemi rappresentano un ambiente particolarmente delicato e ricco di biodiversità, che oramai per il proprio equilibrio richiede la presenza costante dell'uomo. È evidente quindi che l'agricoltura riveste un ruolo di primaria importanza nella conservazione dell'ambiente, delle risorse naturali e per il mantenimento della biodiversità. Ad essa viene ormai riconosciuta un'intrinseca multifunzionalità: è un'attività che esplica anche un ruolo ambientale, culturale e di servizio.

In questo quadro le aree protette debbono diventare luoghi di eccellenza dove sperimentare nuove e più avanzate forme di politica agro-ambientale con particolare riguardo alla diminuzione degli input, alla tipicizzazione dei prodotti ed alla stessa conservazione del paesaggio, nonché per garantire la permanenza e l'ammodernamento strutturale delle aziende agricole. E' pertanto in atto un profondo cambiamento della filosofia della gestione delle aree protette ispirata a una nuova concezione che vede le finalità di recupero e conservazione del territorio strettamente legate all'obiettivo dello sviluppo economico e sociale della comunità interessata. La possibilità di conciliare l'esistenza di aree protette e l'esercizio dell'agricoltura è di primaria importanza per conseguire gli obiettivi di tutela di ambienti ad elevato pregio, mantenendo e sviluppando un'agricoltura ecocompatibile in grado di garantire quell'equilibrio tra produzione e difesa ambientale. La soluzione a questa problematica è certamente sia di interesse nazionale che locale, visto che proprio le comunità locali rappresentano il primo e più importante livello di difesa e di fruizione delle aree protette (Cestaat, 1996). Infine un'area protetta deve fungere da "volano" per mettere in pratica quei concetti di sviluppo ecocompatibile, inducendo quindi allo sviluppo economico locale basato su un uso consapevole delle risorse disponibili, sul miglioramento tecnologico e su un rinnovato interesse verso le attività tradizionali (Tarantino & Disciglio, 2006).

Agricoltura locale

La cintura di colline che circonda le sponde arricchisce la varietà del Parco. Qua pascoli e coltivi disegnano una campagna ancora a misura d'uomo, in particolare in alcuni settori dell'area protetta. Nel territorio è evidente una diversa distribuzione di terre coltivate a seminativi o a colture permanenti e pascoli diffusi (Fig. 2.6). La localizzazione delle diverse categorie di uso del territorio può essere così schematizzata:

- colture permanenti: si estendono nella zona settentrionale del parco principalmente all'interno della provincia di Viterbo;
- seminativi: concentrati nei comuni di Oriolo, Manziana e Bracciano;
- pascoli: largamente diffusi nella zona sud-est dell'area protetta.

L'elevata incidenza, in alcune zone del Parco, della SAU a prati e pascoli rappresenta un impatto dell'agricoltura sull'ambiente mediamente più contenuto che altrove, costituendo un segnale positivo dal punto di vista della sua tutela e conservazione.

Come già evidenziato nel paragrafo 2.3, il territorio è costituito da seminativi per un 35%. Questi coltivi, ai quali si aggiungono i prati sfalciabili, sono situati perlopiù nella parte meridionale ed orientale del Parco, interessando i comuni di Anguillara, Campagnano e Trevignano. In questa categoria rientrano una vasta gamma di colture annuali tra le quali, le più diffuse sono il frumento, orzo e granturco. Unicamente per il comune di Bracciano si evidenzia anche una discreta quantità di terreni coltivati ad avena.

Tra le colture permanenti trova spazio l'olivo seguito dalla vite, estesa lungo la fascia circo lacuale, e in misura minore da nocciolo, concentrato essenzialmente nei comuni della provincia di Viterbo situati a nord est del Parco (Tab. 2.6)

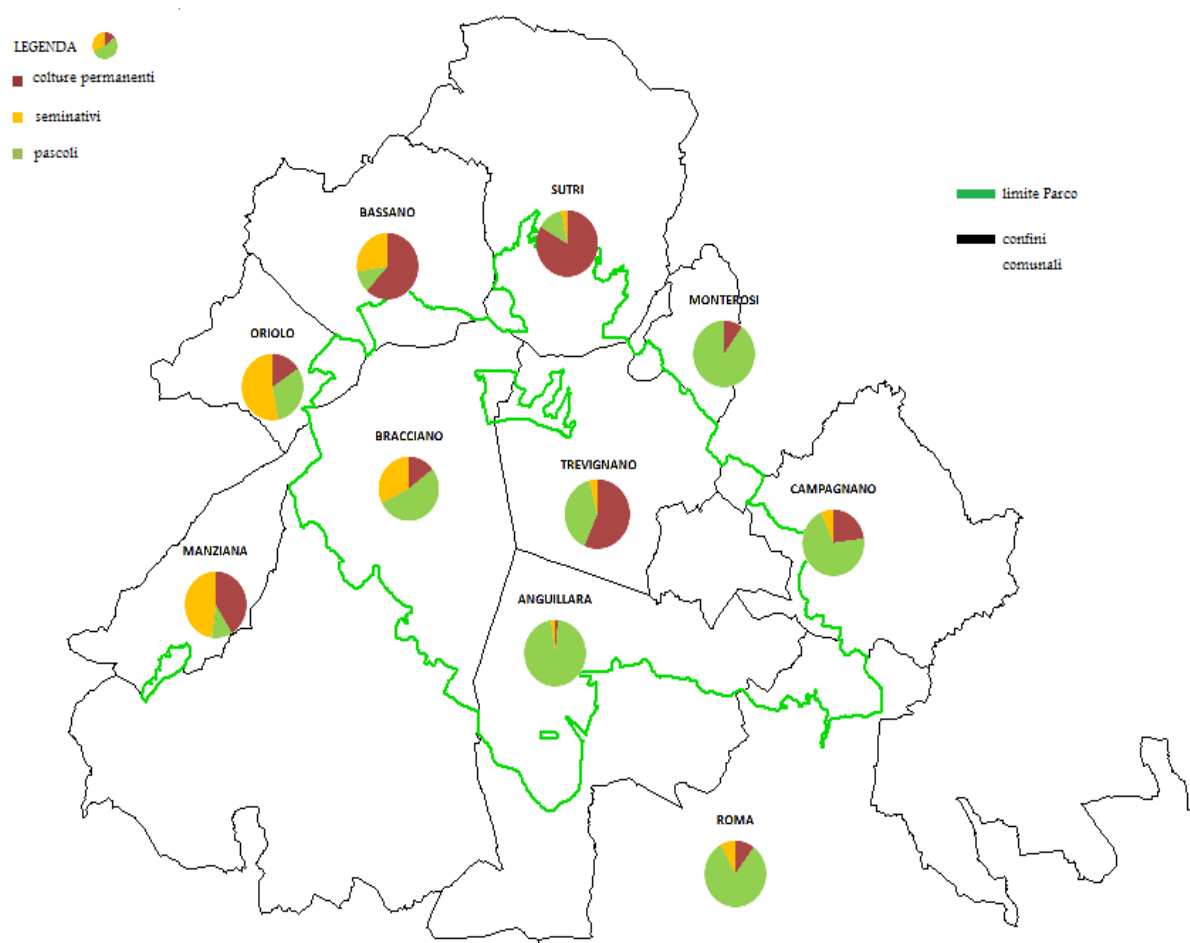
Tabella 2.6: estensione superfici (ha) delle principali colture nei Comuni del Parco

Comune	Colture permanenti				Seminativi			Prati e pascoli	Tot.
	olivo	frutta a guscio	vite	avena	frumento	granturco	orzo		
Anguillara	13,2	0,0	2,4	57,8	722,5	11,8	165,0	862,1	1834,7
Bracciano	225,5	88,0	18,9	125,8	892,6	28,6	179,6	2861,5	4420,5
Campagnano	69,8	0,2	3,1	0,0	196,8	8,5	20,8	345,9	645,1
Manziana	27,3	58,9	3,4	0,0	6,4	13,0	3,9	176,5	289,4
Trevignano	31,3	4,3	33,3	0,0	28,0	0,0	20,1	105,9	222,9
Bassano	124,8	235,5	3,2	13,1	39,9	3,9	28,0	397,4	845,8
Monterosi	17,0	0,5	0,3	0,0	159,0	0,0	4,1	77,8	258,7
Oriolo	4,3	8,0	0,0	0,0	6,9	0,0	18,1	152,8	190,2
Sutri	19,7	1317,0	4,8	0,0	123,1	3,6	87,3	873,0	2428,5

Fonte: AGEA 2005

Complessivamente nei comuni facenti parte del Parco (ad esclusione del comune di Roma) risultano utilizzati per fini agricoli 6.411 ha di cui più della metà (3.416 ha) facenti parte dei tre comuni più rappresentativi del Parco.

Figura 2.6: ripartizione della SAU secondo l'uso dei terreni dei comuni compresi nel Parco



Fonte: AGEA 2005

E' da sottolineare il fatto che i comuni considerati sono solo parzialmente compresi nel Parco, in quanto la perimetrazione dell'area protetta non coincide con i singoli confini amministrativi. Tuttavia ai fini dell'analisi figurano i comuni nella loro interezza, in quanto non esistono informazioni di tipo statistico e delle produzioni su base sub-comunale. Ciò risponde anche all'intento di non limitare lo studio al solo territorio del Parco, ma di considerare anche le aree limitrofe, al fine di agire in un'ottica di rete per delineare strategie e azioni coordinate tra territori delle varie amministrazioni.

Foto 2.2: noccioleto - Bracciano



Aspetti strutturali dell'agricoltura locale

L'analisi dei dati censuari sulle caratteristiche strutturali delle aziende agricole costituisce un importante tassello dell'attività di ricerca, in quanto fornisce elementi utili per capire la dinamica dell'uso dei suoli e quindi la coerenza delle eventuali strategie adottate o da sviluppare nel settore agricolo tenendo in considerazione le ripercussioni di tale azione sull'ambiente circostante e sulla tutela della biodiversità. Tali dati sono stati elaborati al fine di costruire specifici indicatori capaci di restituire un quadro sulle caratteristiche strutturali dell'agricoltura nel Parco. Gli indicatori riguardano le caratteristiche del tessuto aziendale e la forma di possesso dei terreni.

Le analisi sono state condotte su tutti i comuni compresi nel Parco, anche se, come già spiegato, in nessun caso l'area comunale ricade totalmente all'interno dell'area protetta. Solo eccezionalmente i dati relativi al comune di Roma sono stati omessi perché non ritenuti in accordo con le caratteristiche dell'area. Infatti l'ampia superficie amministrativa del comune capitolino rientra solo in minima parte nei confini del Parco, pertanto le sue complessive dinamiche di sviluppo e uso del territorio non rispecchiano quelle generali del Parco.

Un primo elemento studiato in base ai dati forniti dall'ultimo censimento sull'agricoltura è il numero delle aziende presenti nel territorio. Queste raggiungono nei comuni del Parco quota 2.685 (ad esclusione di Roma); i comuni con la più alta frequenza di aziende sono Bassano e

Sutri (628 e 600 aziende) seguiti da Oriolo con 412. Diversa invece la situazione se si considerano i dati relativi alla superficie agricola utilizzata (SAU) e alla superficie agricola totale (SAT). Valori significativi in questo caso si registrano nel comune di Bracciano (Tab. 2.7)

Tabella 2.7: numero di aziende, SAT e SAU dei comuni presenti nell'area Parco, anno 2000

<i>Comune</i>	<i>Numero aziende</i>	<i>SAT (ha)</i>	<i>SAU (ha)</i>	<i>SAT media</i>
<i>Anguillara</i>	128	2568,4	2293,4	20,07
<i>Bracciano</i>	302	11840,4	7171,2	39,21
<i>Campagnano</i>	227	2747,4	1437	12,10
<i>Manziana</i>	130	1981	894,1	15,24
<i>Trevignano</i>	128	623,6	505,5	4,87
<i>Bassano</i>	628	2146,5	1511,8	3,42
<i>Monterosi</i>	130	596,8	510,3	4,59
<i>Oriolo</i>	412	1332,4	647,8	3,23
<i>Sutri</i>	600	3849,3	2760,5	6,42

Fonte: ISTAT 2000

I dati così ottenuti sono stati confrontati con quelli relativi ai parchi nazionali e con i dati relativi al territorio italiano in modo da poter inquadrare il territorio anche in relazione al resto della situazione nazionale. Come mostrano i dati della tabella 2.8 il Parco di Bracciano presenta valori di SAU media e SAT media piuttosto elevati rispetto a quando calcolato per il resto del Paese. La SAT media nel Parco è sensibilmente superiore a quella italiana e a quella registrata per i parchi nazionali grazie anche a un minor livello di competizione nell'uso del suolo. Inoltre valori elevati di SAU media rappresentano un buon indicatore della contenuta frammentazione territoriale connessa agli usi agricoli del suolo. Infine, in senso generale, SAU medie basse indicano usi agricoli intensivi (orticoltura, frutteti) e SAU medie elevate usi estensivi (es. seminativi), pertanto valori di SAU media registrati per questo Parco sono in accordo con quanto detto riguardo la destinazione d'uso della superficie agricola (cf. par.2.4.2).

La maggior parte delle aziende presenti nei comuni compresi nel Parco sono piccole medie aziende di 1-2 ha di estensione. Solo poche aziende hanno dimensioni tali da raggiungere i

100 ettari, per la maggior parte concentrate nel comune di Bracciano (Tab 2.9). Il titolo di possesso più diffuso è di gran lunga la proprietà privata in tutti i comuni.

Tabella 2.8: valori nazionali e locali di SAU media e SAT media

	<i>SAU media aziendale</i>	<i>SAT media aziendale</i>
	ettari	
Parchi nazionali	5,3	9,5
Italia	5,1	7,6
Parco Bracciano	6,6	10,3

Tabella 2.9: aziende per classe di superficie totale

Comune	<i>no sup.</i>	<i>classi di superficie(ha)</i>								Tot.
		<i><1</i>	<i>1-2</i>	<i>2-5</i>	<i>5-10</i>	<i>10-20</i>	<i>20-50</i>	<i>50-100</i>	<i>>100</i>	
Anguillara		3	2	25	22	42	26	3	5	128
Bracciano		50	55	85	37	26	20	11	18	302
Campagnano		60	68	43	16	15	19	4	2	227
Manziana		101	105	142	19	6	2	3	1	379
Trevignano		26	29	52	8	5	7	1	0	128
Bassano		294	170	116	17	16	13	1	1	628
Monterosi	6	48	39	23	9	1	1	1	2	130
Oriolo		92	191	111	10	4	2	0	2	412
Sutri		258	119	120	37	33	19	7	7	600
Tot.	6	932	778	717	175	148	109	31	38	2934

Fonte: ISTAT 2000

I dati forniti dal Censimento agricoltura indicano che nei comuni studiati si registra una discreta presenza di popolazione attiva nel settore agricolo. In particolare il comune di Anguillara risulta essere quello con un maggior numero di popolazione attiva nel settore, nonostante abbia un numero minore di aziende rispetto agli altri comuni. Il numero di lavoratori in tale settore ha subito un calo negli anni, a causa delle profonde trasformazioni che hanno inevitabilmente inglobato il settore agricolo locale. Mediamente si registra per il

decennio 1990-2000 una diminuzione del 35% della popolazione complessivamente attiva in agricoltura in questo territorio.

I cambiamenti che hanno investito questo settore hanno avuto inevitabili ripercussioni anche sulla destinazione di uso delle terre, un tempo destinate solo ad attività agricole. Ciò trova conferma nei mutamenti avvenuti negli anni che vedono contrarsi la SAU e la SAT in misura considerevole.

Tabella 2.10: numero di aziende presenti nei comuni del Parco nel 1990 e nel 2000

Comune	N° aziende		
	1990	2000	Δ%
Anguillara	198	128	-35,4
Bracciano	644	302	-53,1
Campagnano	656	227	-65,4
Manziana	411	279	-32,1
Trevignano	327	128	-60,9
Bassano	774	628	-18,9
Monterosi	545	130	-76,1
Oriolo	204	412	102,0
Sutri	634	600	-5,4

Fonte: ISTAT IV e V Censimento Agricoltura

La diminuzione del numero di aziende (Tab.2.10) è generalmente accompagnato da una diminuzione delle superfici dedicate alla coltivazione di seminativi e colture permanenti. Per il solo comune di Bracciano è stata registrata negli anni una diminuzione del numero complessivo di aziende ma un aumento considerevole delle superfici totali coltivate, sia con colture annuali che con colture permanenti.

Gli aspetti socio-economici schematizzati sottolineano la stretta interazione che esiste tra le dinamiche evolutive che hanno investito l'attività agricola e il continuo cambiamento strutturale dell'area.

La specializzazione produttiva dei comuni del Parco: ISP

Al fine di comprendere al meglio i cambiamenti avvenuti nel Parco nei confronti del settore agricolo, si è ricorsi all'uso dell'indice di specializzazione (ISP)⁵. Tale indice è largamente utilizzato nell'ambito della letteratura economico-agraria per evidenziare la specializzazione, produttiva o strutturale, di un territorio rispetto ad un altro di riferimento (Arcuri, 2004). Nel nostro caso l'analisi ha preso come base i singoli Comuni presenti nell'area Parco. Le variabili indagate sono:

- a. la superficie agricola utilizzata (SAU) delle principali coltivazioni erbacee
- b. la superficie agricola utilizzata (SAU) delle principali coltivazioni arboree

Per il calcolo dell'indice si è preso come parametro di raffronto i valori della SAU totale dei comuni compresi nel Parco.

L'indice di specializzazione consente di mostrare le differenziazioni territoriali prendendo come riferimento la produzione lorda vendibile o gli ettari di SAU o le unità di bestiame adulto (UBA). Nel nostro caso, utilizzando la fonte informativa costituita dal 4° e 5° Censimento generale dell'agricoltura, è stata impiegata la SAU dei Comuni appartenenti al Parco. Le informazioni elementari vengono ordinate in una matrice H di m righe e di n colonne:

$$H = \begin{matrix} & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1j} & \dots & X_{1n} \\ & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2j} & \dots & X_{2n} \\ & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & X_{i1} & X_{i2} & \dots & X_{ij} & \dots & X_{in} \\ & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mj} & \dots & X_{mn} \end{matrix}$$

Il generico elemento X_{ij} è, in questo lavoro, rappresentata dalla SAU della coltivazione j nel comune i.

Ponendo a_{ij}

$$a_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_i X_{ij}}$$

⁵ Nella letteratura economico-agraria ha trovato un vasto gradimento l'indice di specializzazione produttiva, denominato ISP, che è stato ampiamente utilizzato nel corso di questi anni, a partire dall'applicazione sviluppata da Bagarani, Magni e Mellano (1986) sulla base di un precedente lavoro di Lo Cascio (1984), dedicato al settore bancario

che rappresenta il peso della superficie destinata alla coltivazione j nel Comune i sul totale della superficie occupata dalla coltivazione j nell'intero territorio del Parco, e

$$b_i = \frac{\sum_j X_{ij}}{\sum_i \sum_j X_{ij}}$$

che individua il peso della SAU totale del Comune i sulla SAU totale del Parco, si procede alla costruzione di una nuova matrice i cui elementi prendono il significato di indice di specializzazione del territorio i relativamente alla coltivazione j sulla base della formula:

$$S_{ij} = \frac{a_{ij} - b_i}{(1 - a_{ij})b_i + (1 - b_i)a_{ij}}$$

Il campo di variazione dell'indice risulta compreso tra -1 e $+1$, cioè massima despecializzazione e, rispettivamente, massima specializzazione.

In modo più preciso, si può dimostrare che l'indice soddisfa le seguenti proprietà:

- per $a_{ij} = b_i \rightarrow S_{ij} = 0$

(se il peso relativo del Comune i nella coltivazione j è lo stesso della SAU totale del Comune i sulla SAU totale del Parco)

- per $a_{ij} < b_i \rightarrow S_{ij} < 0$ e, al limite, per $a_{ij} \rightarrow 0$, $S_{ij} = -1$

(se il peso relativo del Comune i nella coltivazione j è minore dell'incidenza della SAU totale del Comune i sulla SAU totale del Parco)

- per $a_{ij} > b_i \rightarrow S_{ij} > 0$ e, al limite, per $a_{ij} \rightarrow 1$, $S_{ij} = +1$

(se il peso relativo del Comune i nella coltivazione j è maggiore dell'incidenza della SAU totale del Comune i sulla SAU totale del Parco).

Pertanto vengono individuate quattro categorie per la classificazione dei valori degli ISP dei 10 Comuni:

- 1) forte non specializzazione (con valori ISP compresi tra -1 e $-0,5$);
- 2) debole non specializzazione (con valori ISP compresi tra $-0,5$ e 0);
- 3) debole specializzazione (con valori ISP compresi tra 0 e $0,5$)
- 4) forte specializzazione (con valori ISP compresi tra $0,5$ e 1).

Inoltre, per ottenere una visione dinamica dei cambiamenti intervenuti nell'arco temporale che separa gli ultimi due censimenti dell'agricoltura, si è svolta un'analisi comparata intercensuaria costruendo diagrammi di dispersione, ossia la visualizzazione dei valori delle

variabili come punti in un diagramma cartesiano ortogonale, che sull'asse delle X riportano i valori dell'indice di specializzazione dei Comuni del Parco nel 2000 e sull'asse delle Y i valori nel 1990 dello stesso ISP. Gli indici di specializzazione si prestano in modo esemplare a tale scopo per la loro caratteristica di avere un campo di variabilità certo (da +1 a -1).

Il diagramma di dispersione è stato successivamente suddiviso in quadranti che, sono così individuati:

1° quadrante (1990 ISP positivo, 2000 ISP positivo): Comuni *specializzati*;

2° quadrante (1990 ISP negativo, 2000 ISP positivo): Comuni *neospecializzati*;

3° quadrante (1990 ISP negativo, 2000 ISP negativo): Comuni *non specializzati*;

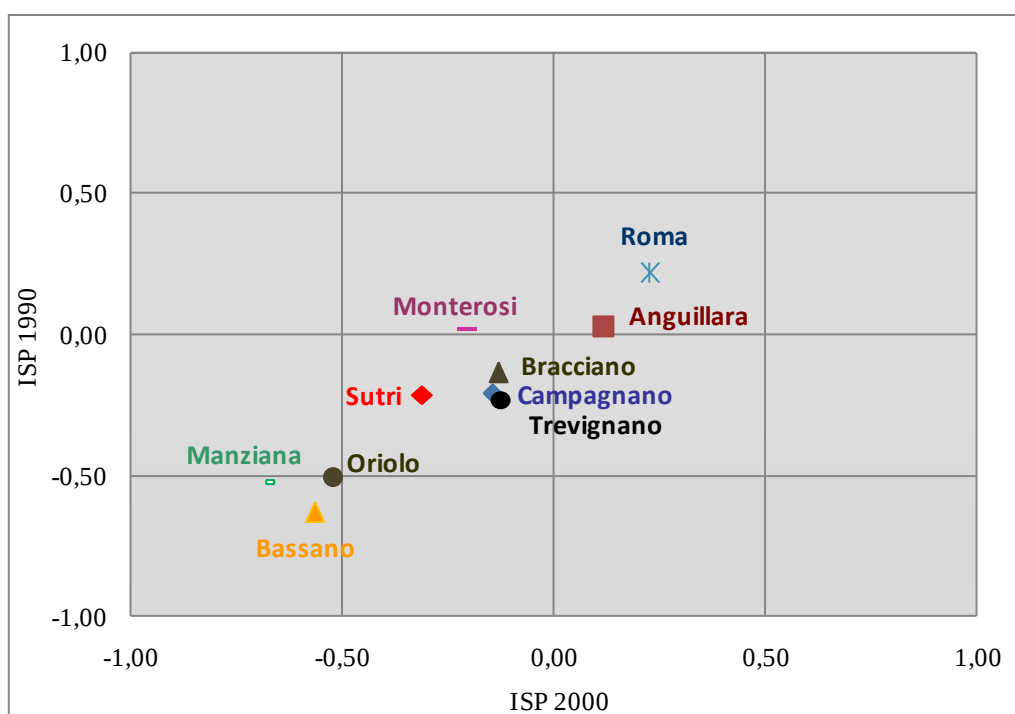
4° quadrante (1990 ISP positivo, 2000 ISP negativo): Comuni *despecializzati*.

Le informazioni così ottenute risultano importanti per lo studio approfondito delle dinamiche evolutive del settore agricolo locale. In particolare risultano utili per definire quelle aree in cui si registra un aumento o meno delle superfici destinate a specifiche colture. In tal senso è possibile analizzare anche l'interesse degli agricoltori locali nel perpetuare talune colture piuttosto che altre, e quindi, intraprendere scelte congrue nell'ottica di una politica di gestione favorevole alla conservazione delle attività agricole locali.

Come prima deduzione appare evidente che alcuni comuni hanno visto contrarsi nel tempo le superfici dedicate alle attività agricole, subendo pertanto una despecializzazione nei confronti di alcune colture. In particolare i comuni di Bassano romano e Manziana sono gli unici a trovarsi in una situazione di forte despecializzazione nei confronti della SAU dedicata ai soli seminativi. Anguillara invece è il solo comune che presenta una debole specializzazione (Fig. 2.7). Per contro si nota una forte specializzazione nei confronti della SAU delle colture arboree per i comuni di Manziana, Sutri e Bassano; una forte non specializzazione si registra invece per il solo comune di Anguillara (Fig. 2.8).

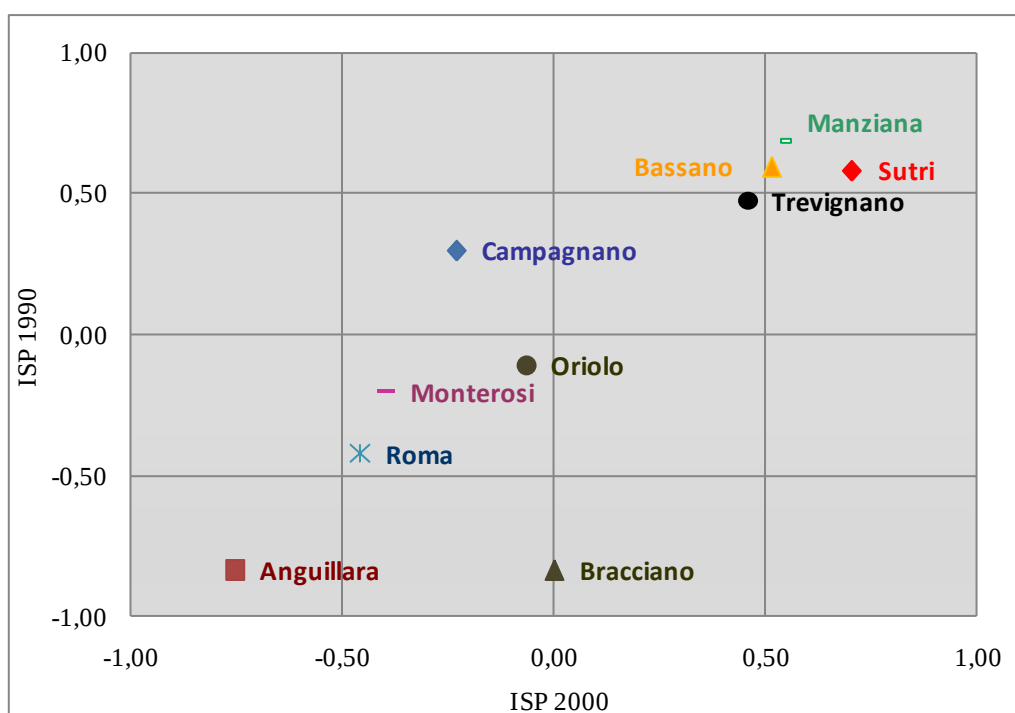
L'analisi effettuata conferma pertanto una certa compartizione del Parco. L'area posta a sud del territorio negli anni si è caratterizzata per la conservazione di zone a pascolo e seminativi, mentre nella parte a nord la coltivazione delle specie arboree ha mantenuto negli anni la sua importanza, con particolare riferimento alla frutta a guscio, coltura la cui diffusione negli anni è andata aumentando coinvolgendo Comuni più a ovest come Bracciano, che presente una, seppur ancor debole, neospecializzazione in particolare nei riguardi del nocciolo.

Figura 2.7: ISP relativo alla SAU dei soli seminativi



Fonte: proprie elaborazioni su dati ISTAT IV e V Censimento agricoltura

Figura 2.8: ISP relativo alla SAU delle sole colture arboree nei comuni del Parco



Fonte: proprie elaborazioni su dati ISTAT IV e V Censimento agricoltura

2.5 Formazioni boschive

La superficie occupata dai boschi rappresenta una buona percentuale di copertura del suolo nel territorio del Parco. Per effettuare una valutazione sull'estensione della superficie boschiva nei comuni interessati dal Parco è possibile analizzare sia i dati relativi al Corine Land Cover 2000 e quelli relativi al V Censimento agricoltura (Tab.2.11)

Tabella 2.11:superficie boschiva dei comuni appartenenti all'area Parco

Superficie boschiva (ha)		
Comune	CLC 2000	ISTAT 2000
Anguillara	225,8	52,92
Bracciano	4199,4	3127,49
Campagnano	534,9	67,87
Manziana	974,5	935,81
Trevignano	296	39,52
Bassano	715,8	525,65
Monterosi	74,9	57,26
Oriolo	658,8	533,63
Sutri	1137,5	957,16
Totale	8817,6	6297,31

Fonte: CLC 2000 e ISTAT 2000

La discordanza tra i due valori va evidentemente attribuita ai differenti approcci adottati nei due casi. Infatti nel caso dei dati Istat va precisato che questi vengono prodotti in occasione di un censimento con cadenza decennale e che il valore della superficie boscata riportata da ISTAT include la superficie forestale boscata e non boscata⁶. Inoltre tali valori si riferiscono alle superfici di proprietà privata e inseriti in un più complesso sistema aziendale; vengono pertanto in questa analisi esclusi una buona fetta di territori presenti nei diversi Comuni.

⁶ Per superficie forestale boscata s'intende un'unità di superficie minima continua di mezzo ettaro, sulla quale sono presenti piante forestali legnose, arboree e/o arbustive, determinanti a maturità un'area di insidenza (proiezione delle chiome sul terreno) superiore al 50% e suscettibili di avere un ruolo indiretto sul clima e sul regime delle acque. Per superficie forestale non boscata s'intende un'estensione di terreno costituita dalla superficie non produttiva, ma necessaria alla produzione (strade forestali, viali parafulco, depositi di legno), e da altre piccole superfici quali terreni rocciosi, terreni paludosi, ruscelli, vivai forestali situati in foresta e destinati al fabbisogno proprio, nonché dalle abitazioni del personale forestale con i terreni annessi e le relative dipendenze dell'azienda forestale.

Per contro il programma Corine prevede la fotointerpretazione da immagini satellitari, si basa pertanto su un sistema di indagine completamente diverso che, oltre a una diversa definizione di area boscata, non tiene conto della proprietà delle aree individuate.

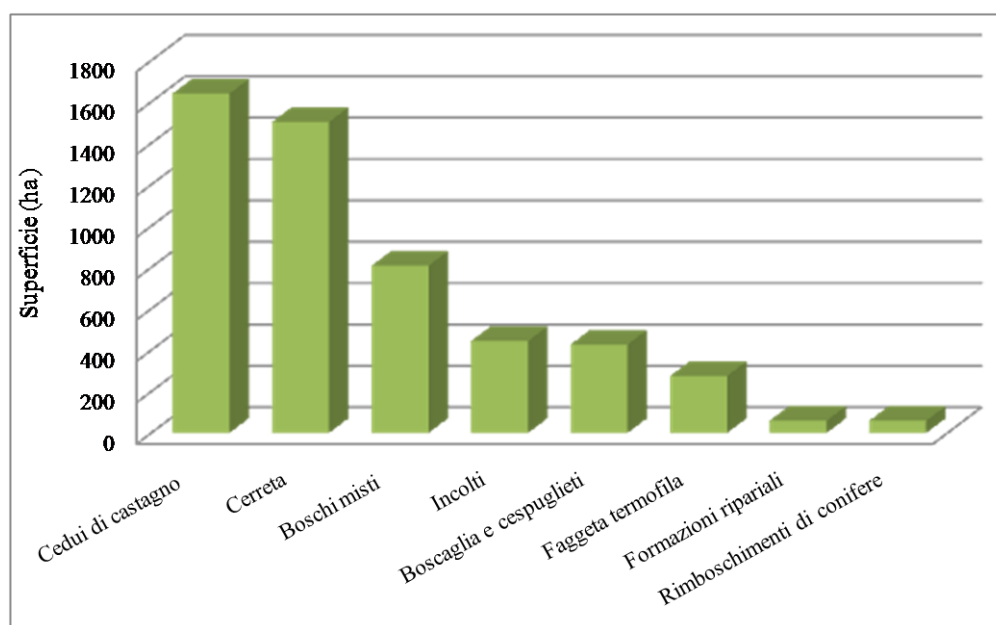
In base alla Carta Uso del Suolo del Parco la superficie ricoperta dai diversi tipi di vegetazione naturale (SVN) è di 5.217 ha, pari al 31,4% di quella totale dell'area protetta. Se non si considera la superficie occupata dai due laghi la percentuale sale a circa il 50%, una percentuale ben al di sopra della media nazionale e della regione Lazio (Portoghesi *et al.*, 2006). I boschi di latifoglie sono il tipo di formazione vegetale di gran lunga dominante il paesaggio naturale del territorio lacuale, costituendo ben l'85% della superficie a vegetazione naturale. Il rimanente 15% è rappresentato da formazioni perlopiù arbustive e prative che in genere costituiscono forme di iniziale rinaturalizzazione di terreni agricoli non più utilizzati (Tab. 2.12, Fig.2.9) (Portoghesi *et al.*, 2006).

Tabella 1.12: estensione in percentuale delle principali formazioni forestali nel Parco

<i>Formazione forestale</i>	<i>estensione %</i>
Cedui di castagno	31,4
Cerreta	28,8
Boschi misti	15,5
Vegetazione degli incolti	8,5
Boscaglia e cespuglieti	8,2
Faggeta termofila	5,3
Formazioni ripariali	1,1
Rimboschimenti di conifere	1,1
<i>Totale</i>	100

Fonte: Piano di assetto del Parco di Bracciano Martignano, Portoghesi et al, 2006

Figura 2.9: superficie (ha) occupata dalle principali formazioni forestali



Fonte: Piano di assetto del Parco di Bracciano Martignano, Portoghesi et al., 2006

Le superfici forestali, pur se eterogenee, presentano degli elementi comuni quali la frammentazione della proprietà, l'antropizzazione dei boschi e il ricorso a modelli di gestione semplificati. La maggior parte dei boschi presenti all'interno del parco infatti vengono struttati senza seguire una vera e propria pianificazione, ma operando l'utilizzazione di fine turno attraverso singoli progetti di taglio autorizzati dall'ente preposto. Solo in alcuni casi esistono dei piani di gestione forestale.

Non esistono dati certi relativi alle proprietà dei boschi presenti nel parco, ma attraverso l'analisi dei tagli effettuati negli ultimi anni, e dai dati di estensione SAT e SAU ricavati da ISTAT è possibile affermare che la maggior parte di essi è di proprietà privata e ricade all'interno delle aziende stesse. I tagli più frequenti interessano piccole superfici, spesso inferiore ai tre ettari, e nella stragrande maggioranza si tratta di cedui semplici perlopiù di castagneti o querceti misti.

Il fatto che la maggior parte dei boschi sia di proprietà privata è avvalorata dal fatto che la diminuzione del numero di aziende presenti nei comuni facenti parte del parco è seguita parallelamente dalla diminuzione della superficie comunale boscata (Tab. 2.13). Le aziende

nel corso degli anni hanno lasciato posto probabilmente a nuove costruzioni nuove abitazioni, per le quali in effetti si registra un aumento considerevole.

Tabella 2.13: variazione della superficie boscata nei comuni appartenenti all'aera Parco

Comune	Sup. boschi (ha)		
	1990	2000	$\Delta\%$
Anguillara	103,9	52,9	-49,1
Bracciano	4204,0	3127,5	-25,6
Campagnano	282,8	67,9	-76,0
Manziana	1271,8	935,8	-26,4
Trevignano	231,2	39,5	-82,9
Bassano	567,0	525,7	-7,3
Monterosi	286,0	57,3	-80,0
Oriolo	67,3	533,6	693,3
Sutri	1032,0	957,2	-7,3

Fonte: ISTAT IV e V censimento agricoltura

Principali tipologie forestali del Parco

I cedui di castagno ricoprono un'area pari a 1.640 ha, rappresentando da soli il 31% della SVN. Caratterizzano tutto il settore nord-occidentale del Parco, estendendosi lungo un'ampia fascia che va da Bracciano fino alla porzione di Parco posta a nord del Monte Rocca Romana, all'interno del comune di Sutri. Ricoprono i pianori tufacei, poco pendenti o leggermente ondulati, dove trovano condizioni edafiche ottimali e possono facilmente vincere la concorrenza delle altre specie a temperamento mesofilo in virtù del rapidissimo accrescimento iniziale. Dove il terreno supera il 25% di pendenza, o su substrati più superficiali, perdono competitività e cedono il passo al bosco misto mesofilo. Sulle esposizioni più calde è invece la cerreta a sostituire il castagneto. I popolamenti sono oggi costituiti da uno strato molto denso di polloni formato quasi esclusivamente da *Castanea sativa* Mill., sovrastato da uno strato di matricine (30-70 per ettaro) uniformemente distribuite sul terreno. Davvero sporadica è la presenza di singoli individui di altre essenze in particolare rilasciate come matricine. Anche il sottobosco è piuttosto povero. Lungo i fossi più significativi il popolamento forestale assume la fisionomia del Carpino-Coryletum, formazione ad ecologia specializzata con dominanza di carpino bianco e denso sottobosco di nocchioleto, felci e muschi (Pignatti, 1998). Quasi quattro quinti della superficie ricoperta dal castagneto è di proprietà privata e si trova in massima parte all'interno di grandi aziende agro-forestali. La restante frazione è di proprietà

comunale o collettiva. Il castagno è stato ampiamente diffuso dall'uomo attorno al lago di Bracciano a spese di altri tipi di bosco o per riconvertire terreni agricoli e pascoli. Gli ultimi impianti risalgono a circa 40 anni fa. Inizialmente, la coltura del castagno aveva finalità alimentari e i castagneti da frutto prevalevano su quelli da legno. Nel secondo dopoguerra, la diffusione virulenta di diversi patogeni ha determinato la conversione di molti castagneti da frutto in cedui matricinati. Il ceduo castanile sui terreni vulcanici è una coltura molto redditizia perché consente di ottenere con cicli produttivi relativamente brevi (18-25 anni attualmente) un'elevata produzione di legname. Nella tabella 2.14 vengono mostrati alcuni dei parametri dendrometrici caratterizzanti i cedui castanili locali. La frequente remunerazione del capitale investito rende questa forma di governo particolarmente gradita al proprietario forestale, soprattutto se privato. La tradizionale selvicoltura del ceduo castanile porta alla formazione di estesi popolamenti dalla struttura estremamente semplificata e uniforme in quanto monospecifici, in massima parte coetanei e costituiti da individui di dimensioni molto simili. La gestione viene eseguita in alcuni casi non seguendo una vera e propria pianificazione ma solo operando l'utilizzazione di fine turno attraverso l'autorizzazione di singoli progetti di taglio. La scarsa richiesta sul mercato locale di assortimenti ritraibili dagli interventi di diradamento (paleria agricola) ha contribuito negli anni alla diminuzione degli interventi intercalari. Questo ha determinato in alcuni casi la presenza di polloni che non hanno raggiunto le dimensioni necessarie per essere impegnati come legname da opera. Tale prassi è stata segnalata in letteratura anche per altri soprassuoli castanili (Tani *et al*, 2003). Si tratta comunque di soprassuoli nel complesso in buono stato fitosanitario, anche se a partire dalla stagione silvana 2008-2009, è stata riscontrata la presenza del cinipide galligeno del castagno (*Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu).

Tabella 2.14: caratteristiche dendrometriche dei cedui castanili del Parco

<i>Età</i>	<i>h media (m)</i>	<i>d medio (cm)</i>	<i>polloni/ha</i>
13	11,7	10	2504
19	13,12	16,35	1274
17	12,58	15,73	1497
11	13,5	10,3	3472
15	11	10,2	2425
7	9,5	6,6	4467

Fonte: piani di taglio

Nella stessa fascia di territorio occupata dai cedui castanili si estende, per 902 ha, la cerreta tipica. Rispetto al castagno questa però occupa altitudini inferiori o, a parità di quota, le esposizioni più calde. La maggior parte delle cerrete, circa 550 ha, è attualmente governata a ceduo matricinato, con struttura bistratificata. La densità delle matricine è maggiore rispetto a quella del ceduo castanile (100-150 individui per ettaro) e distribuita in modo uniforme. Aree di cerreta governate a fustaia si trovano immediatamente a ridosso e anche all'interno delle faggete termofile di Monte Raschio e MonteTermini, nonché nella zona di Monte Guerrano nel territorio di Sutri. Si tratta di popolamenti a struttura coetaneiforme, mono o bistratificata, a densità elevata. Lo strato superiore è costituito quasi esclusivamente da cerro con alberi anche di grandi dimensioni. Da questa cerreta tipica si distingue la cerreta con roverella caratterizzata proprio per una maggiore partecipazione di *Quercus pubescens* Willd. e una minore presenza di specie mesofile. Questa formazione occupa una superficie di 601 ettari e caratterizza soprattutto il settore orientale e meridionale del Parco, dove l'altitudine media è più bassa e il clima presenta una più spiccata aridità estiva. Tuttavia la si ritrova anche nel settore occidentale, a quote minori e su esposizioni più calde rispetto alla cerreta tipica. Le superfici più significative sono costituite dalla macchia di Monterosi, dai boschi del Monte Aguscello e da quelli posti sui versanti interni della caldera del lago di Martignano con esposizione ovest e sud. Si tratta di popolamenti ordinariamente governati a ceduo matricinato, ma specie sopra la sponda orientale del lago di Bracciano, la struttura del soprassuolo assume la fisionomia della fustaia. Sopra la baia di Trevignano Romano questo tipo di bosco ha ricolonizzato i terrazzamenti artificiali non più utilizzati a fini agricoli. Nel ceduo, lo strato delle matricine è costituito da *Quercus cerris* L. e *Quercus pubescens* Willd. con isolati individui di *Quercus ilex* L.. Nello strato dei polloni, oltre alle stesse specie di quercia, si trovano l'acero campestre, l'olmo minore, l'alloro il ligustro e l'orniello (Portoghesi et al., 2006). Nella tabella 2.15 si riportano alcune caratteristiche dendrometriche relative ai cedui quercini locali.

Tabella 2.15: caratteristiche dendrometriche dei cedui quercini del Parco

<i>Età</i>	<i>h media (m)</i>	<i>d medio (cm)</i>	<i>polloni/ha</i>
9	7,9	6,9	2944
9	7,8	7,8	3552
14	7,3	6,3	5888
15	8	8,9	3040
16	11	7,8	4208
21	10,5	14,4	2125

Fonte: piani di taglio

3 Quantificazione delle biomasse disponibili: il comparto agricolo

*Mi ricordo che un giorno
mi parlasti della potatura...*

L'Isola di San Francesco - Gabriele D'Annunzio

3.1 Introduzione

Per la stima del potenziale energetico del comparto agricolo è stata valutata la potenzialità a livello territoriale della filiera agro-energetica per la produzione di biocombustibili solidi.

Tale filiera si basa sullo sfruttamento di biomassa lignocellulosica, residua delle coltivazioni agrarie o prodotta da colture dedicate (non considerate in tale lavoro), per la conversione in energia elettrica e/o termica attraverso combustione del materiale cippato o in forma densificata (pellet o bricchetto) (Arsia, 2009).

Le tipologie di biomasse agricole residuali potenzialmente destinabili alla valorizzazione energetica sono:

- residui delle colture arboree (potature annuali ed espunti di fine ciclo di vite, olivo e fruttiferi);
- residui delle colture erbacee (paglie da frumento, stocchi e culmi di mais ecc..).

Questi ultimi forniscono una biomassa dal più basso potere calorifico, ricca in ceneri, eterogenea e difficile da conservare tal quale, ma può essere comunque utilizzata nella filiera dei combustibili.

La metodologia alla quale si fa riferimento, e che viene descritta nel paragrafo 3.2, è in parte basata su tecniche di analisi dei dati a livello territoriale sviluppate in lavori precedenti condotti a scale differenti o in ambiti territoriali diversi da quello oggetto del presente studio.

3.2 Materiali e metodi

La stima delle biomasse lignocellulosiche utilizzabili per fini energetici necessita in primo luogo della definizione di una metodologia di stima che sia trasparente e affidabile entro limiti accettabili. La scelta dell'approccio di stima dipende da molteplici fattori ed è fortemente

dipendente dalla disponibilità dei dati di ingresso. E' evidente che tra i fattori che condizionano una stima i più importanti sono la dimensione del territorio e il livello di dettaglio che si vuole raggiungere.

Con il crescere dell'interesse verso le fonti alternative di energia, sono stati realizzati una serie di studi per definire quale fosse il potenziale energetico dalle fonti rinnovabili di energia nei diversi territori indagati (Di Blasi *et al.*, 1997; AA.VV. 2001a; AA.VV., 2001b; AA.VV., 2001c; AA.VV., 1998; AA.VV., 2002a; AA.VV., 2008a; AA.VV., 2008b; AIGR-ENEA, 1994; ANPA, 2002; APAT, 2003; Avella *et al.*, 2005; Avella, 1998; Blasi *et al.*, 1997; Botta *et al.*, 1999; CESEN, 2003; Colonna *et al.*, 2008; ENEA, 2008; ENEA, 2008b; ETA, 2003; Gerardi *et al.*, 1995; Lai *et al.*, 1996; Lupia *et al.*, 2006; Menna, 1996; Eta, 2003, Alfano *et al.*, 2009). Sulla base di tali studi, differenti per approccio metodologico, scala di dettaglio e anno di riferimento (Colonna & Croce, 2009), è stato possibile analizzare e confrontare le diverse metodologie utilizzate mettendone in evidenza pregi e limiti, in modo tale da poter scegliere il procedimento di seguito descritto, ritenuto il più idoneo in base alle finalità conseguibili in questo studio. Nel presente lavoro quindi si è proceduto ad una indagine flessibile che, avendo come base la metodologia sviluppata da AIGR-ENEA all'inizio degli anni '90 è in grado di adattarsi alla eterogenea disponibilità di dati reperiti.

Stima del potenziale: metodologia applicata

Lo studio AIGR-ENEA rappresenta la prima indagine a livello nazionale, finalizzata a identificare le potenzialità delle biomasse nelle varie regioni italiane ai fini della generazione di energia elettrica. L'indagine era stata realizzata con criteri uniformi ed era dotata di una Banca Dati realizzata con software commerciale. I dati circa le diverse tipologie di biomasse furono prodotti a livello nazionale, regionale e provinciale (AIGR-ENEA, 1994; Lai *et al.*, 1996). Tale metodologia ha prodotto stime relative a sottoprodotti colturali (colture erbacee e arboree), della biomassa forestale (legna e sottoprodotti) e dalla disponibilità degli scarti delle lavorazioni. (Fig. 3.1)

Per questo lavoro si è ritenuto opportuno adattare tale metodologia per la stima del potenziale di biomasse provenienti dal solo comparto agricolo, trascurando il comparto agroindustriale, (si rimanda al capitolo successivo invece per la stima della biomassa ottenibile dal comparto forestale). Pertanto la disponibilità dei sottoprodotti delle colture erbacee e arboree è stata valutata a partire dalle superfici coltivate e dalle produzioni raccolte. In tal modo è stata poi possibile calcolare il potenziale lordo che può essere definito come la quantità di biomasse

residuali che, sulla base delle colture praticate, vengono prodotte ogni anno in un dato ambito territoriale. E' stato quindi sottratta la quota stimata di prodotto riutilizzato a livello aziendale o venduto nell'ambito dello specifico mercato: in tal modo è stato calcolato il potenziale netto (Fig. 3.1).

E' evidente che la stima così calcolata risulta fortemente influenzata dall'utilizzo di appropriati parametri di calcolo. Questi vennero concepiti per lo studio originale condotto nel 1994 su scala nazionale e sono:

- Sottoprodotto 1/ prodotto: rapporto tra le masse di prodotto principale e sottoprodotto principale della coltura; esprime quindi la quantità di sottoprodotto ottenibile per unità di prodotto;
- Umidità S1: contenuto medio di umidità del sottoprodotto principale (% sul t. q.);
- Uso attuale S1: grado di impiego attuale del sottoprodotto principale (% della disponibilità complessiva);
- Produzione di S2: produzione di sottoprodotto colturale secondario (es. espianto a fine ciclo) (t/ha di t. q.);
- Frequenza S2: periodo al termine del quale si rende disponibile il sottoprodotto colturale secondario;
- Umidità S2: contenuto medio di umidità del sottoprodotto secondario al momento del recupero (% sul t.q.);
- Uso attuale S2: grado di impiego del sottoprodotto secondario (% della disponibilità complessiva).

Mentre è possibile affermare che la maggior parte di questi parametri non è suscettibile di oscillazioni nel corso degli anni, lo stesso principio non può essere applicato al fattore relativo al riutilizzo dei sottoprodotti, il quale deve essere attribuito esclusivamente alla variazione di fattori economici e di mercato. Nella giusta scelta di tale valore va pertanto considerata la destinazione di alcuni sottoprodotti che ha subito dei cambiamenti nel tempo dovuti allo sviluppo o al declino di attività che si servono dei residui agricoli (come ad esempio la zootecnia). Inoltre la disponibilità di biomasse residue, sia erbacee sia arboree, è fortemente influenzata dalla variazione delle tecniche agronomiche adottate nel corso degli anni. Infine è necessario tenere conto dello sviluppo che ha subito l'industria meccanica, la quale ha consentito di migliorare, e di rendere quindi più conveniente, dal punto di vista economico la raccolta degli scarti agricoli.

Alla luce di quanto detto si è ritenuto opportuno in questo studio modificare i parametri di riutilizzo dei sottoprodotti, usati nello studio degli anni '90; i nuovi parametri sono scaturiti dall'elaborazione di dati forniti nei rapporti "Le biomasse per l'energia e l'ambiente", redatti da ITABIA nel 2003 e ripresi anche nel rapporto più recente del 2008⁷(Tab. 3.1).

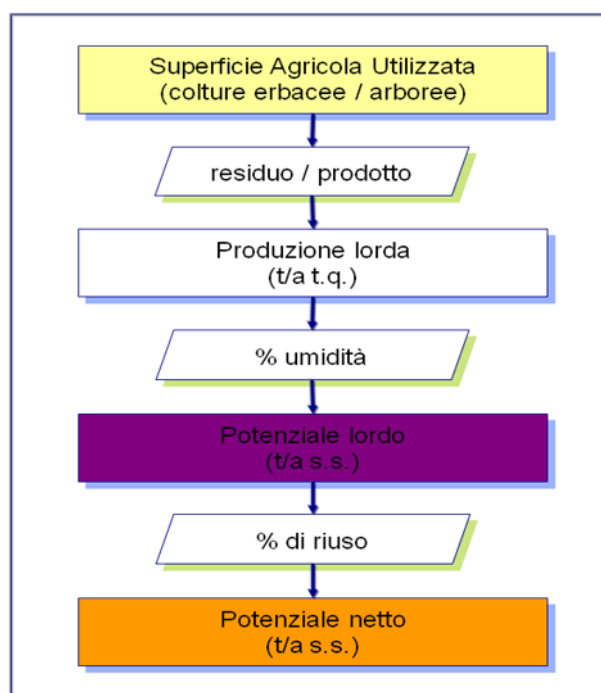
Tabella 3.1: destinazioni attuali dei residui delle coltivazioni agricole e delle industrie connesse

COLTURA	RESIDUO	TIPOLOGIA DI UTILIZZO	PERCENTUALE UTILIZZO
FRUMENTO (tenero e duro)	Paglia	• Lettieria per ricovero animali • Alimentazione animale • Industria cartaria e varie • Bruciatura in campo	40-50 % 5-10% 5-10% 30-40%
ORZO	Paglia	• Lettieria per ricovero animali • Bruciatura in campo	40-50% 50-60%
AVENA	Paglia	• Lettieria per ricovero animali • Bruciatura in campo	40-60% 40-60%
MAIS da granella	Stocchi, tutoli	• Lettieria per ricovero animali • Alimentazione animale • Interramento (tutoli)	40-50% 10-20% 70-80%
VITE	Sarmenti	• Interramento • Bruciatura in campo • Fascine da ardere	30-40% 30-40% 20-40%
OLIVO	Legna, rami, frasche	• Energia (legna) • Bruciatura in campo (rami)	90-100% 90-100%
FRUTTIFERI (melo, pero ecc..)	Rami	• Interrati (solo in pianura) • Bruciatura in campo	10-20% 80-90%
FRUTTIFERI A GUSCIO	Rami	• Bruciatura in campo	90-100%

Fonte: Itabia 2008

⁷ Nel rapporto sono riportati i riutilizzi di ciascun sottoprodotto principale degli scarti di origine agricola. ITABIA fornisce un intervallo, espresso in percentuale, che esprime la quantità di sottoprodotto bruciata in campo. Nel nostro studio è stata considerata utilizzabile per fini energetici la biomassa che attualmente viene smaltita tramite bruciatura. Poiché si è voluto eseguire una stima conservativa si è deciso di utilizzare sempre l'estremo inferiore dell'intervallo proposto da Itabia.(Tab. 3.1)

Figura 3.1: diagramma di flusso della metodologia AIGR-ENEA per la stima dei residui provenienti dal comparto agricolo (colture erbacee e colture arboree)



La stima è stata condotta a livello comunale, in tal modo è possibile analizzare la distribuzione della risorsa biomassa sul territorio del Parco, consentendo così di definire dei bacini di approvvigionamento all'interno del territorio indagato.

La caratterizzazione del comparto agricolo è stata effettuata sulla base dei dati ISTAT relativi all'ultimo Censimento Agricoltura il quale fornisce dati relativi alle superfici coltivate disaggregate a livello comunale. Per le stime delle produzioni raccolte si è invece fatto riferimento ai dati AGEA 2005 i quali forniscono informazioni relative alle superfici coltivate disaggregate a livello comunale.

Per ottenere i valori di biomassa potenzialmente disponibile sul territorio è stato realizzato un database costituito da una serie di files tra loro correlati tali da ottenere un sistema flessibile e facilmente implementabile. Le informazioni sono state organizzate in 10 archivi comunali di identico formato, identificabili attraverso il nome del comune corrispondente.

La banca dati è stata realizzata mediante l'utilizzo del software Microsoft Office Excel 2007.

Verifica dei parametri di calcolo dei sottoprodotti locali

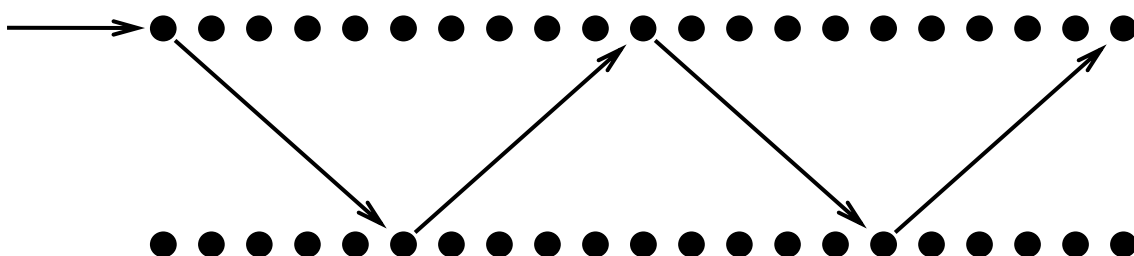
L'uso dei parametri medi a livello nazionale o regionale è un limite delle stime di potenziale realizzate da molti autori. Soprattutto quando si lavora a scala più limitata l'impiego dei parametri medi può indurre a valutazioni di limitata affidabilità. Sarebbe quindi necessario realizzare indagini specifiche per identificare parametri specifici.

Al fine di validare l'attendibilità del parametro relativo alla produzione di sottoprodotto, e per descrivere le reali condizioni di riutilizzo locale relativo alla biomassa dei residui arborei, sono stati effettuati una serie di campionamenti atti a valutare l'effettiva produzione di biomassa residuale e la sua reale disponibilità sul posto al netto dei riusi locali. Sono stati presi in considerazione i soli scarti derivanti dalle potature delle colture arboree. Per i monitoraggi sono state scelte diverse aziende locali nelle quali è effettuata la coltura del nocciolo e dell'olivo. In particolare sono stati realizzati campionamenti a Bracciano, Sutri e Bassano per quanto riguarda il nocciolo, a Bracciano e Trevignano per l'olivo. Gli agricoltori coinvolti sono stati invitati a compilare una scheda-intervista nella quale veniva chiesto di specificare l'uso delle potature (riscaldamento domestico, bruciatura in campo ecc); tali informazioni generiche di base hanno permesso di organizzare successivamente il lavoro d'indagine prefissato.

Epoca e modalità di campionamento

Per ogni appezzamento è stato calcolato il numero di piante ad ettaro in modo da predisporre le operazioni di pesa sul 10% di queste. E' stato eseguito un campionamento randomizzato sistematico utilizzato anche per scopi analoghi in precedenti lavori (Guerrieri M., 2006): in particolare è stata eseguita la pesatura della biomassa prodotta da una pianta su dieci procedendo lungo l'interfila, come schematizzato nella figura sottostante (Fig. 3.2)

Figura 3.2: campionamento randomizzato sistematico



I campionamenti della potatura invernale hanno abbracciato un arco di tempo differente a seconda dell'azienda considerata. Le potature sono state eseguite dagli operatori mediante l'ausilio di motoseghe. Per la determinazione del peso si è usato un dinamometro digitale dalla portata massima di 40 kg. Questo apparecchio è munito di due ganci: quello superiore permette di fissare lo strumento ad uno dei numerosi rami sporgenti dalle branche principali; quello inferiore, invece, serve per appendere la biomassa della quale si vuole conoscere il peso (Foto 3.1) Mediante l'utilizzo di corde, si è potuto compattare la ramaglia formando delle fascine e rendendo più agevole la determinazione del peso.

Foto 3.1: pesatura della fascina di potatura attraverso l'utilizzo del dinamometro digitale.



Il legno pesato è stato distinto in due macro-gruppi:

- ramaglia con diametro inferiore a 4 cm;
- tronchetti con diametro superiore a 4 cm.

La divisione della potatura in questi due sottogruppi è stata utile per definire la percentuale di

biomassa utilizzata dall'azienda stessa come combustibile per uso proprio e valutare così la percentuale di materiale riutilizzato sul totale potato potenzialmente sfruttabile per produzione di cippato. Tale suddivisione deriva dal presupposto che per le potature di diametro maggiore sia lecito pensare a un più facile utilizzo aziendale, mentre per le potature di piccole dimensioni non ci sia interesse alcuno.

Le misure sono state segnate su un apposito prospetto dove, oltre al peso della biomassa, sono stati appuntati i seguenti parametri:

- sesto d'impianto
- numero totale di piante
- numero totale di piante campionate

Per quanto riguarda gli impianti di nocciolo, la biomassa una volta misurata, è stata andanata, come da prassi, al centro dell'interfila, così come mostrato in foto 3.2. Questa disposizione è necessaria per rendere agevole la raccolta e il trasporto della ramaglia ai margini dell'appezzamento.

Altrettanto non si può dire per gli impianti di olivo analizzati in cui la biomassa non è stata concentrata nell'interfila ma direttamente accatastata in cumuli anche lontani dal letto di caduta.

Foto 3.2: impianto di nocciolo nel comune di Sutri: sistemazione andane



Nocciolo: elaborazione statistica dei dati

I dati sono stati elaborati in modo tale da determinare un intervallo intorno alla statistica campionaria nel quale è compreso, con buona probabilità, il parametro della popolazione analizzata. Pertanto il metodo dell'intervallo di stima, ritenuto idoneo in caso di piccoli campioni, è stato applicato per il parametro relativo alla biomassa prodotta mediamente da ogni pianta appartenente alla popolazione analizzata. E' stata utilizzata la distribuzione t di Student, che rappresenta la distribuzione di probabilità di riferimento nell'ambito della teoria dei piccoli campioni (Spiegel, 1976). Il livello di significatività applicato è del 95%. Con la t di Student l'intervallo di stima della popolazione, è calcolato nel seguente modo (equazione 3.1):

$$\bar{x} - t_{(n-1)\alpha} \times s/\sqrt{n} \leq \mu_x \leq \bar{x} + t_{(n-1)\alpha} \times s/\sqrt{n} \quad (\text{eq.3.1})$$

dove:

$\bar{x}$ = media campionaria

$t_{(n-1)\alpha}$ = indica il valore critico della distribuzione t Student con (n-1) gradi di libertà in corrispondenza del livello di confidenza C stabilito.

s = deviazione standard del campione

n = numero di campioni

L'intervallo di stima ottenuto dall'elaborazione statistica dei dati raccolti in campo è stato confrontato con quanto già presentate in letteratura per analisi condotte negli anni precedenti nel territorio Viterbese (Tab. 3.2)

Tabella 3.2: intervallo di stima relativo al peso (kg) della singola pianta (nocciolo)

Anno	Intervallo di stima (kg/pianta)
2003	$3,50 \leq \mu_x \leq 5,87$
2004	$4,30 \leq \mu_x \leq 12,50$
2008*	$2,77 \leq \mu_x \leq 7,62$

** dato scaturito dai campionamenti effettuati per il presente studio*

Successivamente il valore riguardante la produzione di sottoprodotto è stato rapportato al valore di produzione annua fornito da Istat per verificare la variabilità annuale di tale rapporto

e confrontarlo quindi con quanto ipotizzato nelle tabelle di calcolo della metodologia AIGR-ENEA. I risultati ottenuti in seguito ai campionamenti effettuati per questo lavoro e quanto presente in letteratura viene mostrato in tabella 3.3.

Tabella 3.3: produzione annua di prodotto e sottoprodotto relativo alla coltivazione del nocciolo nel territorio compreso nell'area Parco

anno	prodotto (t/ha)**	sottoprodotto (t/ha)	sott./prod.
2001	2,22	1,73	0,78
2002	1,95	1,43	0,74
2003	1,55	1,8	1,16
2004	3,52	2,83	0,8
2008*	2	2,78	1,39

* Dati ottenuti in seguito ai campionamenti previsti per il presente studio

**Fonte ISTAT "coltivazioni annuali"

Dai dati proposti si evince che il rapporto tra sottoprodotto e prodotto relativo alla coltura del nocciolo si aggira sempre intorno all'unità. Diverso invece il valore presente nella tabelle di calcolo proposte nella metodologia AIGR-ENEA (Tab. 3.4).

Tabella 3.4: valore del rapporto sottoprodotto/prodotto relativo al lavoro originario AIGR-ENEA e quello scaturito dalla media dei rapporti presentati in Tab. 3.3.

sottoprodotto/prodotto	
proprie elaborazioni	AIGR-ENEA
0,98	1,9

Per l'area analizzata, alla luce dei dati qui presentati, il parametro utilizzato per la stima del potenziale potrebbe condurre a una sovrastima del materiale effettivamente presente sul posto. I parametri utilizzati sono stati impiegati per formulare un'ulteriore stima nel potenziale lordo e confrontati invece con quanto emerso dall'utilizzo dei parametri AIGR-ENEA. I risultati vengono mostrati in tabella 3.9.

Olivo: elaborazione statistica dei dati

Analogamente alla coltivazione del nocciolo, anche per ciò che concerne l'olivo sono state effettuate delle pesate in campo riguardo il reale quantitativo di biomassa potata e successivamente si è provveduto all'elaborazione di tali dati mediante elaborazioni statistiche. In questo caso però l'intervallo di stima ottenuto dall'elaborazione statistica dei dati raccolti in campo non è stato confrontato con altri poiché in letteratura non è stato possibile reperire informazioni relative al territorio indagato.

Tabella 3.5: intervallo di stima relativo al peso (kg) della singola pianta (olivo)

<i>Coltura arborea</i>	<i>Intervallo di stima (kg/pianta)</i>
olivo	$19 \leq \mu_x \leq 25$

Anche in questo caso è stata valutata la discrepanza tra quanto verificato in campo e quanto riportato nell'elaborazione AIGR-ENEA. In quest'ultima, vengono indicate diverse correlazioni tra resa di olive e quantità di sottoprodotto, in relazione alla periodicità di potatura. In particolare per la regione Lazio viene proposta la seguente correlazione sperimentale (equazione 3.2):

$$\text{quantità di potature (t/ha)} = 0,428 * \text{resa olive (t/ha)} + 1,452 \quad (\text{eq. 3.2})$$

Secondo tale proporzione, per comuni appartenenti all'area Parco si ottiene una produzione di sottoprodotto pari a 0,8 t s.s./ha (si considera un'umidità del 50%). In seguito alle elaborazioni dei dati raccolti in campo in questo caso la relazione proposta tende a sottostimare quanto riscontrato dalle misurazioni dirette. Infatti considerando dei parametri medi (Tab. 3.6) si ottiene una produzione di sottoprodotto pari a 1,4 t s.s /ha (umidità del 50%). In tabella 3.9 si propone una stima della disponibilità di biomassa derivabile dalle potature di olivo (e nocciolo) utilizzando i nuovi parametri di calcolo scaturiti da tali considerazioni.

Tabella 3.6: valori medi rappresentativi relativi agli impianti di olivo presenti sul territorio-elaborazione dei dati ottenuti in seguito ai campionamenti in posto

Sesto impianto (metri)	8 x 8
Piante /ha (valore medio rappresentativo)	156
Potatura media (kg/pianta)*	19
Potatura media (t/ha)	2,9

**valore relativo all'intervallo inferiore di stima ottenuto tramite elaborazione statistica dei dati campionati*

3.3 Risultati comunali

I risultati presentati in questo paragrafo derivano da elaborazioni condotte a partire dal database delle aziende che hanno fatto richiesta del contributo PAC per l'anno 2005, fornitoci da ARSIAL su elaborazione di dati AGEA. Il maggior pregio di questa banca dati consiste nell'essere abbastanza recente, tuttavia questa non considera l'intera realtà agricola, ma solo quella che ha fatto richiesta del contributo comunitario. I dati relativi alle produzioni raccolte sono stati ottenuti applicando il parametro di resa di ciascun prodotto per la provincia di Roma e Viterbo, fornito dall'ISTAT per l'anno 2005.

I risultati sono mostrati con dettaglio comunale per i nove dei dieci totali interessati dall'area protetta. In particolare viene fornito il valore della biomassa residuale agricola espressa in termini di:

- produzione lorda (t ss/anno);
- potenziale netto (t ss/anno);

La produzione lorda si riferisce ai quantitativi di biomassa presenti sul territorio senza tener conto di ulteriori utilizzi. Più interessante risulta essere il potenziale netto, in quanto questo esprime il quantitativo delle biomasse potenzialmente impiegabile per fini energetici calcolato al netto degli usi attuali locali. Infine va precisato che si è ritenuto opportuno non considerare il contributo fornito dal comune di Roma in quanto area non sufficientemente rappresentativo della realtà indagata nel suo complesso. Infatti i risultati ottenuti per il comune capitolino rischiano di falsare le informazioni utili per una corretta gestione del territorio perché presente entro i confini in percentuale troppo piccola rispetto al totale dell'area Parco e all'estensione completa dei limiti totali amministrativi.

La stima è stata realizzata con parametri elaborati sulla base delle informazioni fornite da ITABIA relative alla percentuale di biomassa disponibile, e sulla base dei rapporti

prodotto/sottoprodotto forniti nel lavoro originale AIGR-ENEA degli anni '90. Inoltre, per le sole colture arboree, vengono mostrati anche i risultati scaturiti dall'utilizzo dei "nuovi" rapporti prodotto/sottoprodotto elaborati in seguito ai campionamenti effettuati sul posto (cfr paragrafo 3.2.2).

Potenziale lordo teorico

Si stima per i nove comuni interessati dall'area Parco una disponibilità lorda di biomasse residuali pari a 12 kt/ha anno di sostanza secca (Tab. 3.7).

Il comune in cui risulta essere disponibile in valore assoluto la maggior quantità di residui agricoli è Sutri con 4,5 kt/ha di residui, seguita da Bracciano, Anguillara e Bassano. Analizzando la densità degli scarti disponibili in relazione alla superficie agricola totale di ogni comune, si ottiene un'utile informazione riguardo il tasso di concentrazione del prodotto essenziale per una prima valutazione della disponibilità e della convenienza alla raccolta per una successiva trasformazione energetica. Da tale analisi si evince che la biomassa residuale da colture agricole ha una densità media di circa mezza tonnellata per ettaro, in particolare Sutri risulta essere il comune con la più ampia disponibilità di residui con una concentrazione di 1,17 t/ha, seguita da Anguillara con 0,74 t/ha. (Tab 3.7)

Tabella 3.7: potenziale lordo da scarti di colture erbacee e arboree / SAT

<i>Comune</i>	<i>t/ha</i>
Anguillara	0,74
Bracciano	0,25
Campagnano	0,35
Manziana	0,15
Trevignano	0,38
Bassano	0,50
Monterosi	0,62
Oriolo	0,08
Sutri	1,17
Media	0,47

Fonte: ISTAT 2000 e proprie elaborazioni

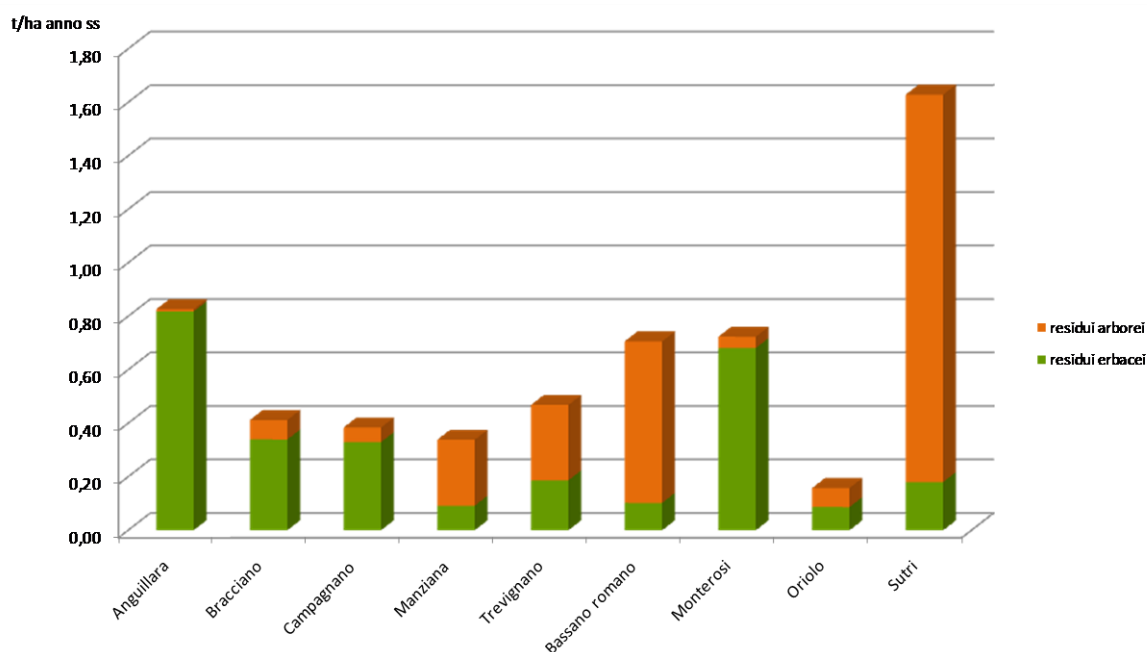
Grazie alle innovazioni tecnologiche raggiunte nel corso degli ultimi anni è possibile valorizzare al meglio le biomasse a seconda della loro natura. Pertanto appare evidente in uno studio di valutazione delle potenzialità disponibile effettuare una stima dettagliata e separata delle biomasse residue dando informazioni circa la loro origine: a tal riguardo si propone una

prima analisi dei dati differenziati per tipologia di residui. In particolare nei comuni esaminati le colture erbacee e quelle arboree contribuiscono in ugual misura al potenziale lordo complessivo del territorio del Parco (Tab. 3.8). Esiste però una differenza significativa nella distribuzione comunale delle due tipologie di scarti. Infatti per ciò che concerne i residui erbacei questi derivano perlopiù dai comuni di Bracciano e Anguillara mentre i residui delle colture arboree si concentrano nella parte nord orientale del Parco e quindi nel comune di Sutri. Nella figura 3.3. si evidenziano i comuni con il rispettivo potenziale lordo derivante da residui erbacei e arborei.

Tabella 3.8: totale potenziale lordo di biomassa da residui erbacei e arborei dei comuni appartenenti al Parco Bracciano-.Martignano

<i>Scarti agricoli (t s.s.)</i>		
Colture erbacee	Colture arboree	Totale residui
6029,3	5960,6	11990,0

Figura 3.3: potenziale lordo/ SAU (dettaglio comunale)



Fonte: proprie elaborazioni su base dati AGEA 2005 e ISTAT 2000

In tabella 3.9 vengono mostrati e comparati i risultati relativi alla disponibilità di biomassa relativa alle colture arboree calcolata sulla base dei nuovi rapporti prodotto/sottoprodotto scaturiti in base ai campionamenti effettuati sul posto.

Tabella 3.9: potenziale lordo degli scarti di potature delle colture arboree (olivo e nocciolo) sulla base dei parametri di calcolo scaturiti dai campionamenti effettuati sul posto (ipotesi B) confrontati con il potenziale lordo totale degli scarti di potature delle colture arboree secondo i parametri di calcolo originari AIGR-ENEA (ipotesi A).

	A	B
sup. olivo (ha)*	1256	1256
sottoprodotto (t/ha)**	0,8	1,4
potenziale lordo (t/ha)	1004,8	1758,4
sup. nocciolo (ha)*	1771	1771
sottoprodotto (t/ha)**	1,6	1,2
potenziale lordo (t/ha)	2833,6	2125,2
potenziale lordo tot. da colture arboree (t/ha)	3838,4	3883,6

* superficie complessivamente occupata dalla coltura nei nove comuni compresi nel Parco

** dato mediato sul totale dei comuni considerati; tonnellate di sostanza secca

Il quantitativo totale di biomassa prodotta risulta molto simile nei due casi. Il potenziale lordo derivabile dalle potature dell'olivo risulta sottostimato utilizzando i parametri AE, al contrario per il nocciolo si ha una leggera sovrastima. Interessante comunque notare come, nonostante i parametri proposti siano stati elaborati per essere adattati a una realtà complessa quale quella dell'intero territorio italiano, sono in grado nello specifico caso di restituire una stima assolutamente verosimile: tali parametri quindi sono in grado di restituire l'ordine di grandezza del valore del residuo. Infatti il confronto proposto in tabella 3.9 evidenzia il parallelismo tra i dati di bibliografia e quanto scaturito in seguito ai campionamenti. Pertanto nelle successive analisi, e quindi per il calcolo del potenziale netto teorico, si è deciso di proseguire sulla base dei dati ottenuti a partire agli originari parametri AE, proprio in virtù della buona attendibilità.

Potenziale netto teorico

Il potenziale energetico al netto degli usi cui i sottoprodotti vengono destinati normalmente, fornisce una visione realistica del patrimonio di scarti disponibili, ma non ancora quella reale, poiché non tiene conto di altri elementi che condizionano la reale utilizzabilità della stessa.

Come spiegato la metodologia utilizzata permette di definire il potenziale netto del territorio partendo dal lordo⁸ tramite appropriati parametri di calcolo. Tali parametri utilizzati nell'originario lavoro AIGR-ENEA venivano concepiti per descrivere una realtà agricola di diversi anni fa. Certamente nel tempo è cambiata la disponibilità di biomasse residuali essendo questa molto influenzata dalla variazione delle tecniche agronomiche e dal miglioramento dell'industria meccanica. Pertanto si è cercato di aggiornare i parametri di riutilizzo rispetto a quelli utilizzati nel lavoro originario (Tab. 3.10, Tab. 3.11)

Tabella 3.10: variazione dei parametri di calcolo relativi ai riutilizzi (uso attuale S1) per la stima della biomassa, adattati alla realtà odierna.

	Colture erbacee				
	Frumento tenero	Frumento duro	Orzo	Avena	Mais
Residuo	Paglia	Paglia	Paglia	Paglia	Stocchi
Parametro AIGR-ENEA	70	70	70	70	50
Nuovo parametro*	70	70	50	60	70

* Elaborazione ENEA sulla base dei dati riportati nel rapporto 2008 redatto da ITABIA.

Tabella 3.11: variazione dei parametri di calcolo relativi ai riutilizzi (Uso attuale S1) per la stima della biomassa, adattati alla realtà odierna.

	Colture arboree					
	Vite	Olivo	Pesco	Melo	Pero	Nocciolo
Residuo	Sarm.	Frasca	Rami pot.	Rami pot.	Rami pot.	Rami pot.
Parametro AIGR-ENEA	5	10	5	5	5	5
Nuovo parametro*	70	10	20	20	20	10

* Elaborazione ENEA sulla base dei dati riportati nel rapporto 2008 redatto da ITABIA

⁸ Si precisa che in questo paragrafo i valori di potenziale lordo a cui si fa riferimento sono i valori ottenuti a partire dai parametri di calcolo proposti dalla metodologia originaria. Per il calcolo del potenziale netto infatti si è deciso, per uniformità dei risultati, di tralasciare i valori di potenziale lordo delle colture arboree ottenuti in base ai parametri scaturiti dai campionamenti sul posto.

Per gli altri parametri (umidità, frequenza ecc.) è stato preso in riferimento il lavoro AIGR-ENEA del 1994 (Tab. 3.12).

Tabella 3.12: tabella di calcolo con relativi parametri utilizzati per la stima dei sottoprodotti delle colture erbacee e arboree

	RESIDUI ERBACEI					RESIDUI ARBOREI					
	FRUM. TENERO	FRUM. DURO	ORZO	AVENA	MAIS. GRAN.	VITE	OLIVO	PESCO	MELO	PERO	GUSCIO
Prodotto	Cariossidi	Cariossidi	Cariossidi	Cariossidi	Cariossidi	Bacche	Drupe	Drupe	Falsi frutti	Falsi frutti	Nocule
Sottoprodotto 1 (S1)	Paglia	Paglia	Paglia	Paglia	Stocchi	Sarmenti	Frasca	Rami pot.	Rami pot.	Rami pot.	Rami pot.
Sottoprodotto 2 (S2)	Nessuno	Nessuno	Nessuno	Nessuno	Nessuno	Legna	Legna	Legna	Legna	Legna	Legna
Sottoprodotto 1/Prodotto	0,69	0,70	0,80	0,70	1,30	(1)	(2)	0,20	0,10	0,10	1,90
Umidità S1 (%)	15	15	15	15	55	50	50	40	40	40	40
Produzione S2 (t/ha)	-	-	-	-	-	20	-	75	85	100	40
Frequenza S2 (anni)	-	-	-	-	-	25	-	15	20	20	20
Umidità S2 (%)	-	-	-	-	-	40	40	40	40	40	40

*Note: (1) quantità di sarmenti=0,113*resa in uva+2; (2) quantità di potature olivo = 0.428*resa olive + 1.452*

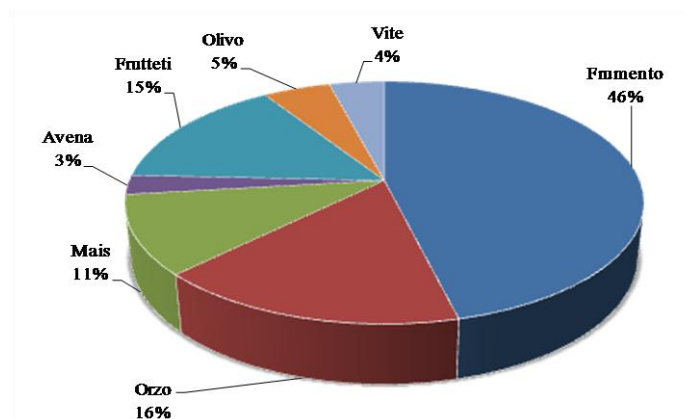
Dal confronto dei risultati si evince una lieve differenza tra i residui netti totali ricavati attraverso i nuovi parametri rispetto ai vecchi nell'ordine di una diminuzione complessiva del 1%. Questa è dovuta esclusivamente alla variazione dei parametri di riutilizzo del sottoprodotto principale. Infatti essendo diminuito nel tempo il riutilizzo delle paglie provenienti dalla coltivazione di orzo e avena si ottiene una quantità di paglie disponibili per fini energetici maggiore, anche se di poco, rispetto alla stima AE. Ma le quantità di ramaglie di potatura delle colture arboree, sono leggermente inferiori a causa dell'aumento dei parametri relativi ai riutilizzi del sottoprodotto principale. Ciò comporta una riduzione complessiva, seppur minima, della disponibilità di prodotto sul territorio. In tabella 3.13 vengono riportati i risultati ottenuti con dettaglio comunale.

Tabella 3.13: stima della disponibilità netta di scarti agricoli (t s.s) eseguita a livello comunale sulla base dei dati AGEA 2005 (elaborazione con parametri di produttività adattati alla realtà odierna)

<i>Comune</i>	<i>Residui erbacei</i>	<i>Residui arborei</i>	<i>Tot. Residui</i>
Anguillara	639,4	10,9	650,3
Bracciano	824,2	295,6	1119,7
Campagnano	150,7	52,7	203,4
Manziana	26,3	106,7	133,0
Trevignano	36,5	53,1	89,6
Bassano	62,2	502,2	564,3
Monterosi	106,3	14,9	121,3
Oriolo	25,5	21,8	47,3
Sutri	191,1	2149,2	2340,3
Totale	2062,08544	3207,046	5269,13

Nella figura 3.5 sono mostrati i risultati della stima ottenuta con i nuovi parametri con dati disaggregati a livello comunale. Si propone inoltre un dettaglio del contributo delle diverse colture erbacee e quindi arboree nel determinare il potenziale netto totale presente sul territorio (Fig. 3.4).

Figura 3.4: potenziale netto: contributo percentuale delle varie colture



Come evidenziato nelle figure che seguono (Fig. 3.6 e 3.7) i residui di potatura sono da attribuirsi principalmente alla coltivazione della frutta a guscio seguita dall'olivo;

praticamente irrilevante il contributo della vite. Tali potature si trovano distribuite perlopiù nella parte nord-occidentale del Parco in particolar modo nel comune di Sutri. Per questa ragione risulta piuttosto facile e agevole definire un bacino di approvvigionamento per tale risorsa. Per ciò che riguarda invece i residui delle colture erbacee questi sono concentrati a sud del Parco (Anguillara e Bracciano) e sono dovuti essenzialmente alle colture del frumento e orzo. Nei comuni più a nord, pur essendoci nel complesso una minore disponibilità di residui erbacei si ha una maggior diffusione della coltura dell'orzo. Unica eccezione Manziana dove la maggior parte dei residui disponibili si ha grazie alla coltura del mais.

Figura 3.5: disponibilità netta di biomassa agricola

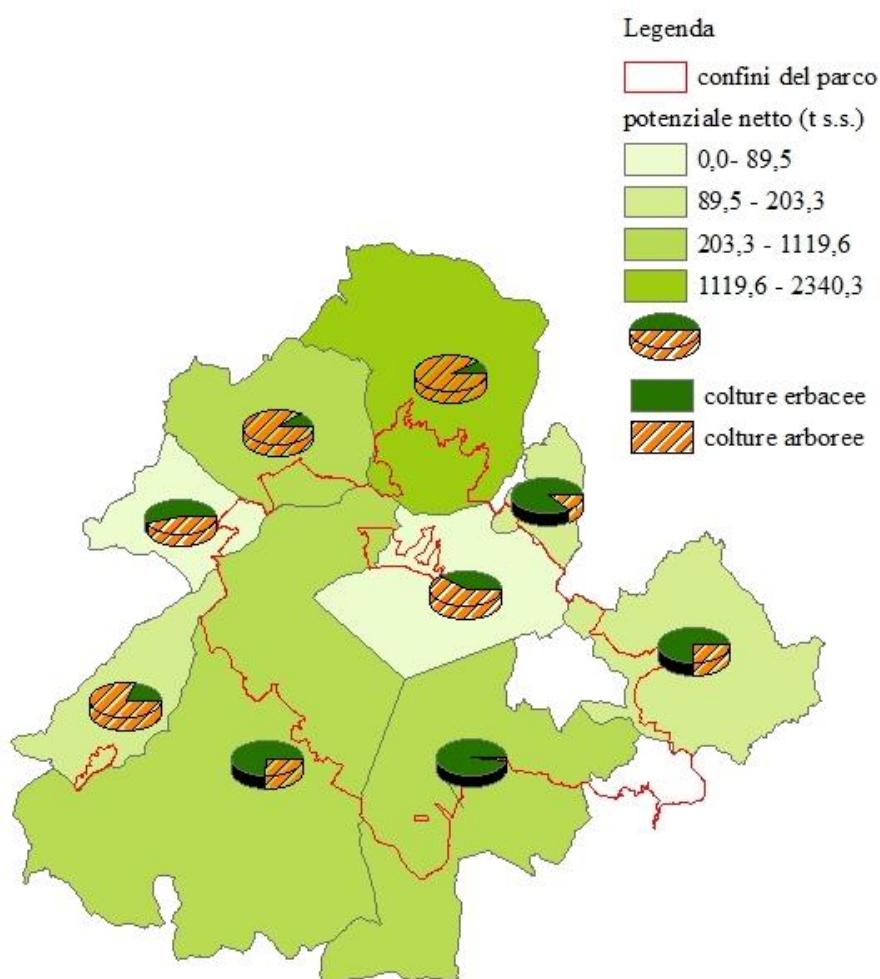


Figura 3.6: potenziale netto da colture arboree- dettaglio comunale

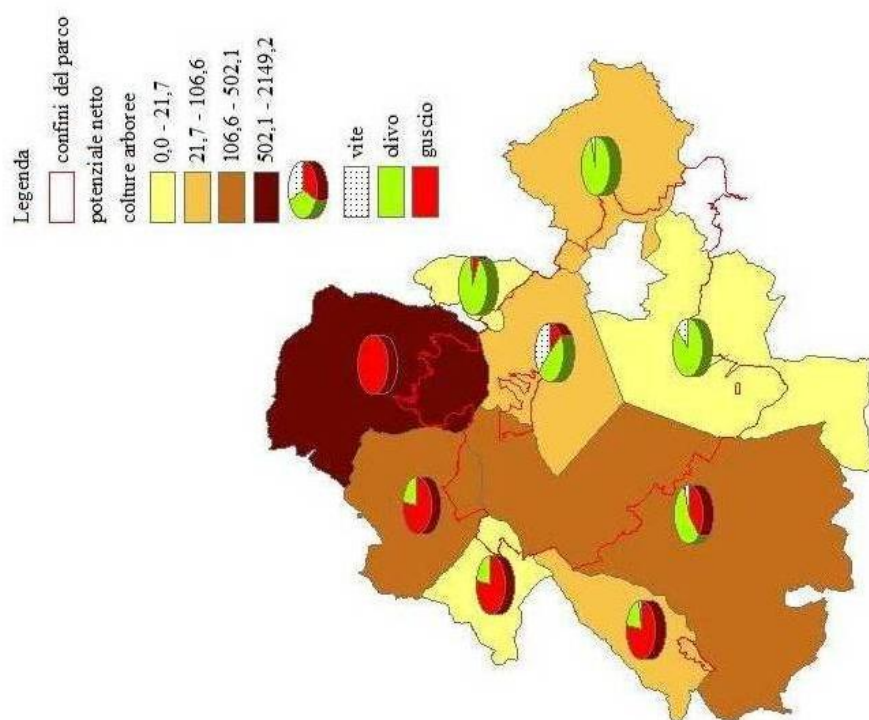
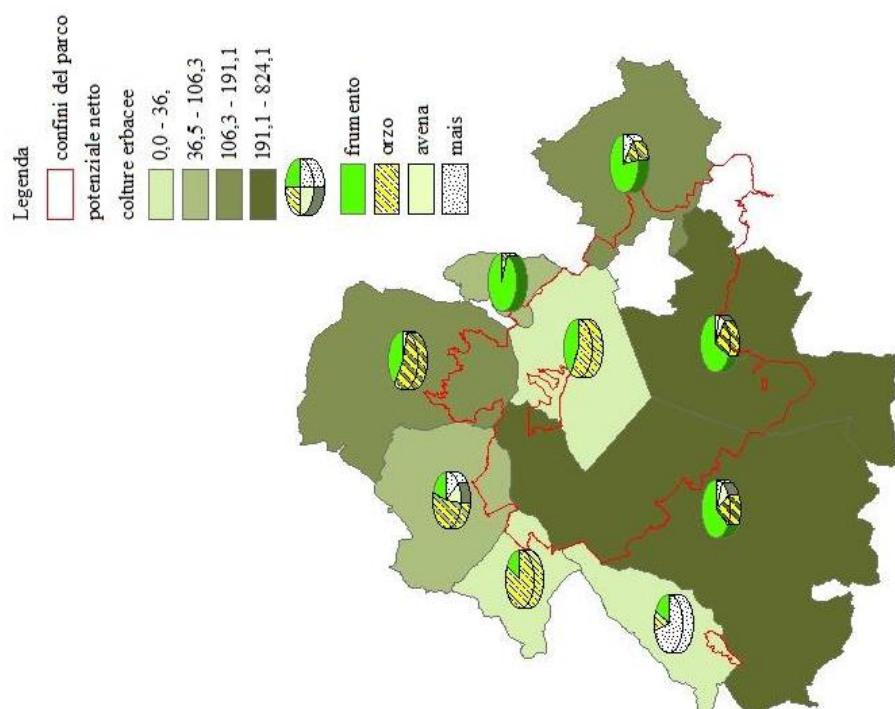


Figura 3.7: potenziale netto da colture erbacee- dettaglio comunale



3.4 Considerazioni circa il potenziale reale

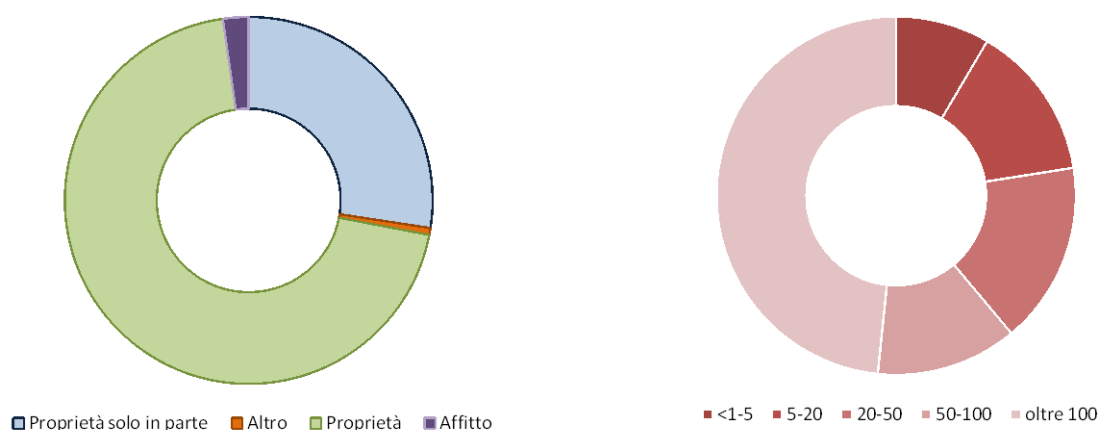
Fino a questo momento si è parlato sempre e solo di *potenziale netto*, che rappresenta un valore teorico in quanto indica le biomasse potenzialmente disponibili senza tener in considerazione ulteriori fattori se non quello relativo al riutilizzo locale. Ulteriore passaggio è necessario per definire il *potenziale reale* cioè quella percentuale calcolata sul netto che effettivamente può considerarsi sfruttabile sul territorio tenendo in considerazione una serie di aspetti che inevitabilmente possono influire sulla capacità o meno di impiego della risorsa considerata. Per giungere a tale valore è fondamentale considerare le specifiche condizioni tecniche, organizzative e socioeconomiche locali che sono decisive riguardo l'effettivo impiego per scopi energetici delle biomasse prodotte in un dato luogo. Infatti le particolari condizioni logistiche sono determinanti per valutare l'effettiva convenienza economica ad utilizzare tali residui.

Inoltre le biomasse stimate sono eterogenee per tipo, composizione, umidità. Sono disperse sul territorio in aree a differente grado di accessibilità e in un numero talvolta molto ampio di aziende e sono disponibili in fasi temporali differenti. Tutto ciò deve essere attentamente analizzato per poter valutare quanta parte del potenziale netto possa essere effettivamente utilizzata ai fini energetici.

Oltre le caratteristiche fisiche del territorio, importante è anche valutare gli aspetti socio-economici peculiari per poter valutare azioni di intervento mirate. Gli aspetti che più incidono si riferiscono all'estensione delle aziende locali e il titolo di possesso. È ragionevole dedurre infatti che coinvolgere aziende con maggiori estensioni e di proprietà privata sia più vantaggioso e logisticamente più concretizzabile rispetto a realtà in cui si ha eccessiva frammentazione aziendale.

In virtù di quanto affermato vengono di seguito mostrate le principali caratteristiche socio-economiche dei comuni compresi nell'area del Parco. (Fig. 3.8). queste da sole non sono comunque sufficienti per definire il potenziale reale di biomassa utilizzabile per scopo energetico. Per tale ragione, oltre a quanto macroscopicamente presentato in questo paragrafo, sarebbe auspicabile proseguire la ricerca attraverso un'analisi multidisciplinare che consenta di valutare la reale fattibilità di sviluppo di un distretto locale agro energetico.

Figura 3.8: superficie agricola utilizzata per titolo di possesso (sx) e superficie agricola utilizzata per classe di SAU (dx)



Fonte: proprie elaborazioni su dati ISTAT 2000

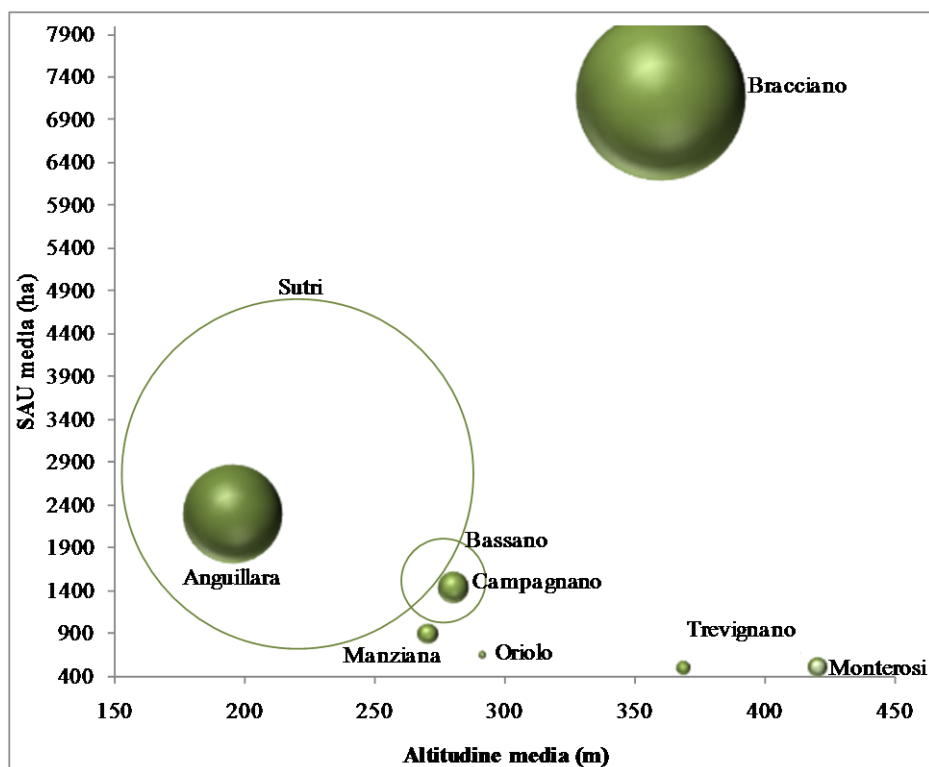
Il 69% della superficie agricola utilizzata presente nei comuni compresi nel Parco è completamente di proprietà privata mentre il 27% lo è solo in parte (restante parte in affitto o in parte per uso gratuito). Inoltre la maggior parte delle aziende si estende su superfici al di sopra dei 100 ettari. Solo una minima parte (8%) della SAU si estende per superfici inferiori ai 5 ettari, mentre le rimanenti classi di superfici sono uniformemente rappresentate. Indicativamente ad un aumento delle dimensioni di SAU corrisponde una maggiore potenzialità di disporre di quantitativi aziendali rilevanti di biomasse residuali e/o di terreni per poter realizzare colture dedicate a scopi energetici.

E' chiaro che eventuali interventi di filiera dovrebbero tener conto di questi fattori. Infatti la dimensione fisica delle aziende e il titolo di possesso è prerequisito per poter investire o partecipare a consorzi di scopo per aggregare le risorse potenziali che consentano la redditività dell'investimento.

Pur rimanendo su indicatori di tipo macroscopico è possibile analizzare congiuntamente più aspetti per avere informazioni utili alla pianificazione settoriale. Nella figura 3.9 sono messe in relazione le informazioni relative alla frammentazione aziendale (SAU media provincia) e all'orografia (altitudine del centro del comune) con la disponibilità di scarti erbacei e arborei nei vari comuni.

Potenzialmente i comuni il cui indicatore si situa nella parte in alto a sinistra del grafico sono quelli ove si può ragionevolmente ipotizzare impianti di taglia maggiore con minori costi di approvvigionamento per una minore complessità dell'orografia.

Figura 3.9: quantità di biomasse residuali, erbacee e arboree (kt), per ciascun comune messa in relazione alla SAU media e all'altitudine del centro. La dimensione di ciascuna sfera è proporzionale alla quantità netta di biomasse erbacee stimate.



Un'analisi di più ampio respiro basata su informazioni territoriali omogenee e disponibili in formato cartografico consentirebbe di porre effettivamente le biomasse sul territorio prescindendo dai limiti geografici e di analizzarle alla luce dell'orografia reale, della rete stradale e di altri elementi rilevanti identificando quindi gli effettivi bacini agroenergetici basati sulle biomasse residuali disponibili.

3.5 Gli impieghi attuali delle biomasse lignocellulosiche e raccolta meccanizzata

Gli scarti provenienti dall'agricoltura, ovvero parte delle paglie, stocchi del mais e ramaglie di potatura, attualmente non sono riutilizzate in nessun ambito. Essendo le paglie e gli stocchi

del mais riunite nelle operazioni di raccolta dei cereali, questi scarti costituiscono una risorsa che non presenta costi di raccolta, si rende disponibile a costo nullo. Le ramaglie di potatura delle colture arboree invece sono meno convenienti rispetto agli scarti delle colture erbacee perché necessitano di costi relativi alla raccolta e compattazione da parte di macchine specifiche.

Il recupero della biomassa per fini energetici sta emergendo come una delle possibilità più interessanti per valorizzare i residui di potatura delle colture arboree, e risolvere così il problema del loro smaltimento, che può anche essere molto oneroso quando considerazioni fitosanitarie consiglino la rimozione della biomassa, invece della trinciatura in campo.

Attualmente i residui agricoli di potatura vengono concentrati fuori dagli appezzamenti nelle aree più aperte delle capezzagne e bruciati. Tale operazione richiede un lavoro manuale con produttività media di 0,5 t/h. l'operazione di smaltimento pertanto ha un costo che si aggira tra i 100-150 €/ha (nel caso del vigneto) (Arsia, 2009) a cui non corrisponde alcun ricavo perché il materiale viene completamente distrutto, senza considerare invece il notevole potenziale produttivo rappresentato dagli stessi scarti. Inoltre, non c'è da dimenticare che la pratica di bruciare all'aperto questi residui è vietata (cfr. D.Lgs 22/97).

La scelta di recuperare questo materiale a condizioni economiche favorevoli e la scelta della tecnologia più adatta per effettuare il recupero dipendono da alcuni fattori, tra cui soprattutto la giacitura del terreno, la spaziatura tra le piante, la taglia degli appezzamenti e il tipo di potatura da raccogliere. La qualità stessa di biomassa recuperabile è ovviamente diversa a seconda della tipologia di coltura arborea indagata (vite, olivo, nocciolo, frutteti..). Come anticipato, il punto nodale resta quello dei costi di raccolta, che comunque non deve eccedere il limitato valore del prodotto stesso. (Arsia, 2004). Pertanto occorrono tecnologie efficaci ed economiche da essere alla portata dell'azienda o del contoterzista medio, permettendo così una rapida espansione della nuova filiera di produzione. Le attrezzature impiegabili devono essere progettate per un ambiente di lavoro particolare, caratterizzato da spazi di lavoro ristretti; inoltre devono essere in grado di lavorare a velocità abbastanza elevata proprio perché essendo la densità del prodotto piuttosto bassa, si può ottenere una buona produttività solo trattando superfici abbastanza estese nel minor tempo possibile. I costruttori di macchine agricole hanno valutato le opportunità offerte dal mercato delle bioenergie e stanno dedicando sempre maggiore attenzione a questo settore: buona parte delle macchine sviluppate finora deriva dalla modifica di attrezzature agricole destinate ad altre lavorazioni, ed è progettata per raccogliere da terra le potature già disposte in andana, condizionandole poi in modo opportuno.

Il cantiere più adatto a ciascun caso dipende da vari fattori:

- condizioni del terreno;
- sesto d'impianto e forma di allevamento;
- ampiezza delle capezzagne;
- caratteristiche delle potature.

In letteratura vengono distinti quattro diverse tecniche di recupero:

- imballatura in campo;
- trinciatura in campo;
- triturazione o cippatura in capezzagna;
- lavorazione integrata a cantieri riuniti

Particolare attenzione si sta rivolgendo negli ultimi anni sia all'imballatura che alla trinciatura in campo. Per quanto riguarda l'imballatura, questa offre alcuni vantaggi importanti. Innanzitutto facilita la movimentazione dei residui in campo, diminuendone le dimensioni e organizzandolo in unità omogenee per forma e dimensione. Questo consente di sfruttare meglio la capacità di carico dei mezzi destinati al trasporto, prolungando così il raggio economico di azione. Inoltre l'imballatura facilita uno stoccaggio prolungato in quanto le balle non presentano problemi di fermentazione del cippato (Lehtikangas & Jirjis, 1998). Le prime prove di imballatura di residui di vite, effettuate in Italia risalgono agli anni '80 (Brunetti & Dentico, 1983). Da allora, anni di lavoro hanno consentito di raffinare la cantieristica e oggi, l'imballatura dei residui di potatura è effettuata a livello commerciale in alcune regioni italiane. I tipi di imballatrici oggi utilizzate sono essenzialmente di tre tipi: imballatrici parallelepipediche standard, rotoimballatrici standard e rotoimballatrici leggere.

Per diverso tempo l'imballatura ha attirato maggiore attenzione perché basata su una tecnologia più matura, disponibile da anni anche a livello commerciale. Benché proposto da diverso tempo, almeno a livello sperimentale (Brokeland & Bruggmann, 1996), è solo in tempi più recenti che la trinciatura del materiale potato sta prendendo piede anche a livello commerciale nel nostro Paese.

Si tratta di una tecnica molto interessante perché consente di ridurre in scaglie la biomassa, semplificandone la movimentazione. Infatti la biomassa così tritata si comporta come un fluido e può essere movimentata molto più agevolmente rispetto alle balle. Inoltre il trinciato così ottenuto può essere usato anche direttamente in caldaia dagli stessi produttori agricoli. Le macchine che effettuano la sminuzzatura derivano da trinciasarmenti ai quali sono stati apportate modifiche per permettere la movimentazione in campo del materiale legnoso. Diverse ditte si sono specializzate negli ultimi tempi nella produzione e commercializzazione

di tali macchine, la cui scelta può determinare una riduzione dei costi di raccolta e quindi avere ricadute sull'intera filiera.

Di seguito (Tab. 3.8) si riportano i risultati di alcune prove effettuate in Italia. Va precisato che i dati si riferiscono spesso a prototipi o macchine pre-serie le cui prestazioni nel tempo hanno sicuramente subito modifiche e evoluzioni. Pertanto queste informazioni hanno il solo scopo di fornire una panoramica generale sulle caratteristiche delle diverse macchine esistenti, ma va precisato che il settore è ancora in fase di espansione e nuovi contributi scientifici sono in continuo aggiornamento. Infine va precisato che oltre alle prestazioni in termini di tempo va considerata la capacità della macchina anche sulla qualità del prodotto raccolto (massa volumica, perdite ecc.) anche queste determinanti per le successive fasi di trasformazione del prodotto e quindi sulla operatività complessiva del cantiere.

Tabella 3.14: produttività e costo di alcune trinciasarmenti modificate

Autore	Anno	Coltura	Modello	Produttività*	Costo**
AA.VV.	2001	Vigneto	Omarv 140	4,9	67,3
AA.VV.	2001	Oliveto	Omarv 190	8,4	50,1
Pari	2004	Oliveto	Isma	8	28,8

* t/g= tonnellate tal quale, giornata di 7 ore lavorative

** euro/t

Fonte: AA.VV., 2001c; Pari, 2004

In letteratura è possibile trovare ulteriori dati relativi alla produttività delle macchine atte al recupero dei cascami a terra e della convenienza economica nel loro utilizzo nelle varie tipologie di frutteto considerato (Nati C. *et al.*, 2007; Pari L. *et al.*, 2001a; Pari L. *et al.*, 2001b; Pari L. *et al.*, 2001c; Pari L. *et al.*, 2010; Recchia L. *et al.*, 2009; Spinelli R., 2000; Spinelli R., 2003; Spinelli R. *et al.*, 2006; Spinelli R. *et al.*, 2007; Spinelli R. *et al.* 2009; Spinelli R. *et al.* 2010; Spinelli R. e Picchi G.; 2010). Appare evidente che per futuri sviluppi di ricerca la conoscenza di aspetti relativi alla meccanizzazione possono costituire la base per ulteriori valutazioni tramite strumenti GIS al fine di individuare aree dove la raccolta meccanizzata delle potature, e quindi il loro conseguente riuso, potrebbe risultare economicamente e ecologicamente particolarmente vantaggiosa.

4 Quantificazione delle biomasse disponibili: il comparto forestale e il verde urbano

Secondo studi recenti, ogni anno si potrebbero ottenere da 30 a 40 milioni di tonnellate equivalenti petrolio (tep) recuperando e sfruttando i residui agricoli e forestali della Comunità.

Commissione delle Comunità Europee - Bruxelles, 1983

4.1 Introduzione

In questo capitolo viene effettuata la stima del potenziale energetico derivante dal comparto forestale e del verde urbano nel territorio compreso all'interno dell'area Parco.

In particolare le tipologie di biomasse indagate potenzialmente destinabili alla valorizzazione energetica sono:

- residui delle utilizzazioni forestali (cimali e fascine normalmente abbandonate in bosco);
- residui delle potature derivanti dalla manutenzione dei giardini comunali e alberature stradali.

La decisione di focalizzare l'attenzione sulla componente residuale delle utilizzazioni forestali è motivata dalla natura stessa di tale componente legnosa inadatta alla produzione di legna da ardere o per altri assortimenti legnosi (paleria ecc). Tale componente può rappresentare un quantitativo importante, il cui utilizzo trova facile collocazione per la conversione in energia elettrica e/o termica attraverso combustione del materiale cippato, indipendentemente dalla specie legnosa di origine da cui esso deriva. D'altro canto la legna da ardere, in Italia, ha attualmente un valore molto più alto rispetto al cippato, motivo che rende inconveniente la cippatura integrale dei fusti (Nati *et al.*, 2009b). In aggiunta a quanto detto sopra, la rimozione degli scarti generalmente comporta benefici sia in bosco, migliorandone il valore estetico-ricreativo ed eliminando possibili esche per il fuoco, sia in ambiente urbano sollevando l'Ente preposto dal costo di smaltimento dei rifiuti "trasformandoli" in risorse per l'ambiente stesso.

Lo studio si è articolato attraverso una successione di fasi:

- implementazione di un sistema informativo territoriale;
- identificazione e caratterizzazione delle superfici boschive disponibili all'interno del Parco;

- identificazione attraverso la fotointerpretazione delle alberature principali delle aree urbane comprese nei confini dell'area protetta;
- stima della produttività, per unità di superficie (o singolo albero nel caso delle alberature stradali) dei soprassuoli forestali, tenendo conto di quelli che sono gli accrescimenti delle singole specie, forme di governo e le corrispondenti produttività di assortimenti tradizionali e quindi dei residui .

4.2 Il potenziale lordo forestale secondo AIGR-ENEA

Il patrimonio forestale costituisce una significativa fonte potenziale di biomassa utilizzabile a scopi energetici, che si rende disponibile in seguito alle comuni attività di gestione e cura forestale e alle pratiche di esbosco condotte dalle ditte autorizzate per le diverse utilizzazioni. Si tratta di un potenziale importante, distribuito nel territorio, che per le sue caratteristiche morfologiche lo rende più o meno accessibile, e che risulta spesso difficilmente quantificabile a un livello di dettaglio puntuale in quanto strettamente connesso alla disponibilità di dati puntuali di origine.

La stima della biomassa lignocellulosica proveniente dal comparto forestale rappresenta una tematica di studio già affrontata in diversi lavori e a diverse scale. In particolare, i lavori in cui si fa riferimento alla disponibilità di tale biomassa per scopo energetico per il territorio laziale, oltre allo studio prodotto da AIGR-ENEA nel 1994, sono il “Piano energetico delle Regione Lazio” realizzato nel 2001, e “Censimento potenziale energetico biomasse, metodo indagine, atlante biomasse su WEB-GIS” realizzato da ENEA nel 2009 (Enea, 2009b). Questi presentano tra loro eterogeneità delle fonti dei dati in ingresso e nei parametri di calcolo ma tutti restituiscono un dato a livello provinciale.

In base alle finalità del presente lavoro si è ritenuto opportuno ricorrere anche in questo caso all'utilizzo della metodologia AIGR-ENEA. Tale per la stima della biomassa forestale considera le quantità di legna ottenuta allo stato attuale dal taglio dei boschi già impegnata e quindi non disponibile per fini energetici. Tuttavia, tenendo conto della vita utile dei boschi e in base al tipo di governo, propone un'ipotesi di *sviluppo energetico* sottoponendo al taglio annuale una parte della superficie boschiva, in modo da non depauperare la risorsa. Viene quindi ipotizzato il taglio annuale di una parte della superficie forestale corrispondente al 4% per la superficie governata a ceduo e al 2% per la superficie governata a fustaia, con turni teorici di utilizzazione corrispondenti rispettivamente a 25 e 50 anni. Al quantitativo di legna

che si ottiene in questa ipotesi deve quindi essere sottratta la legna realmente ottenuta dalle tagliate realizzate, perché destinata a un altro mercato (legna per carbonella, legname da lavoro ecc.). Inoltre i sottoprodotti utilizzabili per fini energetici sono stimati come frazione (20%) del volume totale della legna disboscata secondo l'ipotesi di sviluppo energetico.

I dati in ingresso che permettono di realizzare la stima sono:

- superficie boschiva,
- superficie sottoposta al taglio,
- quantità di legname ottenuto dai tagli.

I parametri utilizzati per la stima, concepiti per lo studio originale condotto nel 1994 su scala nazionale, sono:

- la superficie sottoposta annualmente al taglio: esprime la porzione di superficie boscata tagliata annualmente e viene calcolata, nell'ipotesi di sviluppo energetico, come percentuale della superficie totale boscata, in particolare si ipotizza di poter utilizzare annualmente il 2% delle superfici governate a fustaie e il 4% dei cedui;
- la legna totale: il quantitativo di legna totale ottenibile nell'ipotesi di sfruttamento energetico;
- la legna da lavoro: quantitativo di legna da lavoro ottenibile dall'utilizzazione annuale boschiva; viene calcolata come percentuale della legna totale (90% per le fustaie, 20% per i cedui);
- legna da energia: quantitativo di legna da energia (carbonella e da ardere) ottenibile dall'utilizzazione annuale boschiva; viene calcolata come percentuale della legna totale (10% per le fustaie, 80% per i cedui);
- l'umidità: contenuto medio di umidità del prodotto e sottoprodotto legnoso (40%);
- la massa volumica: valore della massa volumica dei prodotti legnosi ($0,90 \text{ t/m}^3$ tq);
- i sottoprodotti forestali: quantitativo di ramaglia e cimali calcolati come percentuale (20%) del volume totale asportato dalle utilizzazioni forestali.

I parametri utilizzati nel lavoro originale AIGR-ENEA erano stati desunti da studi bibliografici. Questi devono essere adattati all'intera realtà nazionale e pertanto assumono un valore indicativo. Per stime di dettaglio, realizzate su piccola scala, sarebbe opportuno disporre invece di parametri locali specifici.

La caratterizzazione del comparto forestale è stata effettuata sulla base delle informazioni ritraibili dalle autorizzazioni di taglio boschivo rilasciate dall'Ente e si riferisce all'intera area

protetta. Per ottenere i valori di biomassa potenzialmente disponibile sul territorio è stato realizzato un database costituito da una serie di files tra loro correlati tali da ottenere un sistema flessibile e facilmente implementabile. La banca dati è stata realizzata mediante l'utilizzo del foglio di calcolo Microsoft Office Excel 2007.

Risultati: ipotesi di sviluppo energetico

I progetti di taglio autorizzati dall'Ente Parco negli anni contengono molte informazioni utili per la conoscenza approfondita delle risorse forestali presenti sul territorio. Dalla digitalizzazione e georeferenziazione di tali informazioni (Fig.4.1) è stato possibile ricavare informazioni utili per le elaborazioni successive. La forma di governo maggiormente diffusa è il ceduo. Quest'ultima in fondo rappresenta la forma di governo più diffusa nell'intero territorio nazionale. Le cause di questa prevalenza sono ben note:

- la necessità di soddisfare le esigenze primarie delle popolazioni locali che dal bosco richiedono soprattutto legna da ardere,
- la facilità e la sicurezza della rinnovazione naturale legata all'emissione dei polloni,
- l'adozione di turni relativamente brevi,
- la semplicità di gestione, che consente di avere la continuità e la costanza di produzione nel tempo,
- la facilità di controllo e quindi la possibilità di applicare le Prescrizioni di massima e Polizia Forestale (Pavari, 1955; Hofmann, 1963; Ciancio, 1983).

I dati derivati dalla realizzazione della carta sono successivamente stati inseriti nel sistema di calcolo previsto dalla metodologia AIGR-ENEA per la quantificazione della biomassa prelevata dai boschi e sono quindi stati utilizzati per effettuare l'*ipotesi di sviluppo energetico*. La stima è stata condotta per l'anno 2005 (stesso anno di indagine a cui fa riferimento la stima per il comparto agricolo). I risultati sono mostrati in tabella 4.1.

La totale assenza di utilizzo dei boschi governati a fustaia per l'anno preso in considerazione fa sì che il totale della disponibilità dei sottoprodotti sia nulla nella situazione attuale mentre, rispetto a quanto previsto nell'ipotetica situazione di sviluppo energetico si sarebbero potute ottenere dall'utilizzazione di questi boschi più di 800 t di sostanza secca di biomassa totale. In realtà l'estensione e l'utilizzazione media annua delle fustaie non rispecchia generalmente tali

valori; infatti se solo si prende in considerazione l'anno dopo (2006) vediamo che la situazione è completamente capovolta. Per quanto riguarda i boschi cedui secondo, questa ipotesi, per l'anno 2005, avrebbero potuto fornire più di 8 kt di sostanza secca.

Tabella 4.1: stima della biomassa ritraibile dai boschi del Parco secondo l'ipotesi di sviluppo formulata in base alla metodologia AIGR-ENEA per l'anno 2005

CARATTERISTICHE		IPOTESI SVILUPPO ENERGETICO		
		Fustaie	Cedui	Totale
Sup. forestale	ha	378	4040	4418
Sup. tagliata	ha/anno	7	161	169
	%	2	4	6
Legna da lavoro	m ³ /anno	1360	3232	4593
	m ³ /ha	180	20	200
	%	90	20	110
Legna da energia (ardere e carbonella)	m ³ /anno	151	12928	13079
	m ³ /ha	20	80	100
	%	10	80	90
Totale legna (tq)	m ³ /anno	1512	16160	17672
Massa volumica	t/m ³ tq	0,9	0,9	2
Umidità	%	40	40	80
Totale legna (ss)	t/anno ss	816	8726	9543
Legna da energia aggiuntiva	m ³ /anno	151	12613	12764
	t/anno ss	81	6811	6893
Sottoprodotti forestali	%	20	20	40
	m ³ /anno	302	3232	3534
	t/anno ss	163	1745	1909

Fonte: proprie elaborazioni

4.3 Approfondimento metodologico

La metodologia AIGR-ENEA presenta ovviamente dei limiti in quanto nasce per restituire un valore a livello nazionale e quindi non tiene conto delle peculiari caratteristiche delle diverse aree boschive ma riconosce solo la divisione in soprassuoli governati a ceduo e quelli

governati a fustaia assegnando poi ad ognuno di essi dei parametri per il calcolo dei residui da questi potenzialmente raccogliibili per fini energetici. E' pertanto evidente che l'utilizzo di parametri macroscopici in realtà territoriali ben circoscritte potrebbe fornire risultati non veritieri. Quindi, al fine di ottenere un quadro conoscitivo completo circa le reali utilizzazioni boschive locali è stata effettuata un'indagine preliminare sui tagli e sui prelievi in foresta. Il lavoro è consistito nell'analizzare e georeferenziare le informazioni relativi ai tagli boschivi effettuati nell'area protetta dal momento in cui è stato istituito il Parco. Sulla base di tali informazioni sono state programmate delle uscite sul posto in collaborazione con l'Ente e le ditte boschive locali per raccogliere dati circa le reali produzioni di scarto in relazione alle principali utilizzazioni locali; infine è seguita una fase di elaborazione e interpretazione statistica dei dati ottenuti. Solo a questo punto i dati ottenuti sono risultati utili per un diretto confronto con quanto proposto dalla metodologia AE. Di seguito vengono descritte le fasi di lavoro nel dettaglio.

Verifica delle produzioni locali: prodotti e sottoprodotti

La rilevazione sui tagli boschivi ha come obiettivo quello di fornire uno strumento statistico per la valutazione delle politiche di settore intraprese per il monitoraggio delle modalità di utilizzo delle risorse medesime. Come noto i prelievi legnosi sono soggetti a regime di autorizzazione pubblica che ha la funzione di regolare il taglio dei boschi anche per ragioni di interesse pubblico. (Macrì, 2006). In particolare, nel caso esaminato, l'Ente Parco è il soggetto competente in grado di monitorare e in parte gestire direttamente le risorse forestali attraverso il rilascio di apposita documentazione di autorizzazione al taglio e utilizzo delle risorse forestali. Questo è pertanto l'organo detentore di tutte le informazioni e dei dati di base necessari per l'elaborazione delle statistiche forestali.

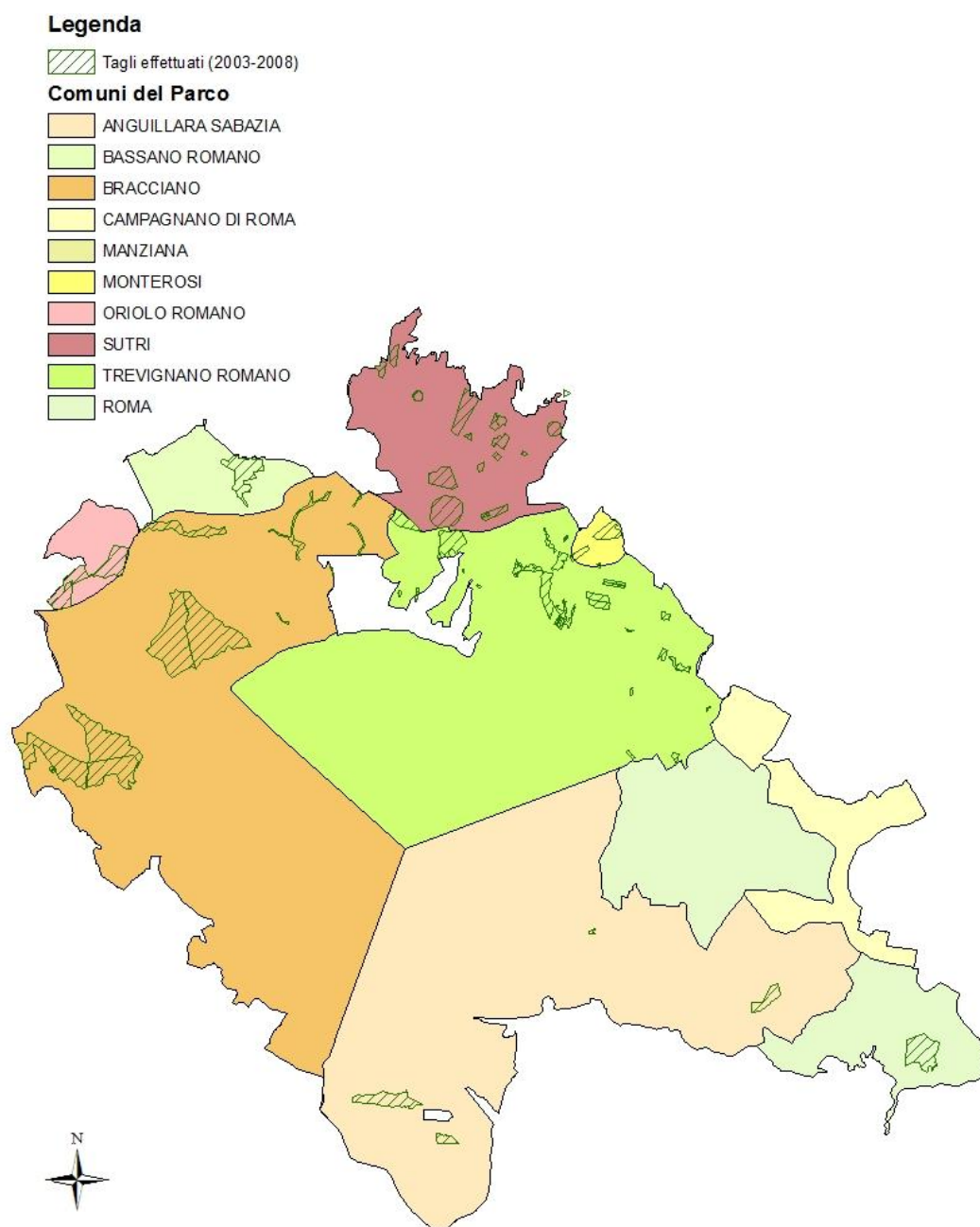
Dallo studio delle autorizzazioni rilasciate dall'Ente a fronte di utilizzazioni boschive, è stata realizzata la "Carta dei tagli". Il data base georeferenziato realizzato in questa fase del lavoro contiene i seguenti dati:

- superficie lorda interessata dall'intervento colturale (superficie catastale),
- superficie di intervento al netto delle tare (strade, radure ecc),
- composizione del soprassuolo,
- forma di governo e trattamento,

- descrizione ultimo intervento colturale,
- epoca dei tagli
- caratteristiche dendrometriche principali (diametro medio, altezza media..)
- stima orientativa della massa legnosa ricavata dall'intervento colturale autorizzato dall'Ente Parco.

I dati così organizzati, oltre a fornire materiale informatico per ulteriori elaborazioni da parte dell'organo competente, ha permesso un'approfondita caratterizzazione dei boschi locali e ha consentito di individuare il grado di sfruttamento reale dei soprassuoli presenti nell'Area Parco. Nella fase successiva del lavoro sono stati utilizzati i dati contenuti nei progetti di taglio registrati e digitalizzati. In base alle considerazioni fatte è stato possibile scegliere le zone idonee per i successivi campionamenti. Tali sopralluoghi si sono rivelati necessari per valutare l'effettiva produzione di biomassa e la sua reale disponibilità sul posto al netto dei riusi locali. Pertanto è stato possibile effettuare considerazioni sull'attendibilità del parametro relativo alla produzione di legna e di sottoprodotto ritraibile dai boschi del Parco. Per i monitoraggi sono state scelte diverse aziende locali nelle quali sono presenti boschi di castagno e cerro governati a ceduo. In particolare sono stati effettuati campionamenti a Oriolo Romano (Azienda Odescalchi), Monterosi (Università Agraria) e Sutri (Azienda Selva Silva).

Figura 4.1: digitalizzazione dei tagli effettuati nell'area Parco (2003-2007)



Fonte dati: proprie elaborazioni su fonte dati Parco Bracciano-Martignano

Epoca e modalità di campionamento

Per ogni appezzamento è stata preventivamente eseguita un'area di saggio al fine di ottenere, oltre alle caratteristiche dendrometriche medie del soprassuolo, anche la distribuzione dei polloni nelle varie classi diametriche. Una volta accertate le condizioni stazionali locali sono state organizzate in accordo con l'Ente Parco, l'azienda ospitante e la ditta appaltatrice, dei campionamenti sul materiale tagliato e accatastato. In particolare è stata eseguita la pesatura della biomassa abbandonata a terra di cui la Ditta appaltatrice non ha provveduto all'esbosco perché ritenuta inadeguata alla sua commercializzazione come legname da lavoro o come legna da ardere. I campionamenti hanno riguardato ditte con diversi metodi di lavoro e con diverse tipologie di mercato finale, pertanto anche i quantitativi di sottoprodotto ottenuto risultano influenzate dal diverso approccio gestionale. In tabella 4.2 vengono sintetizzate le caratteristiche relative principali campionamenti eseguiti.

Tabella 4.2: principali caratteristiche relative ai due soprassuoli campionati

	Comune	Governo	Specie presenti	Appezzamenti ritraibili
Università agraria	Monterosi	Ceduo composto	Castagno/cerro	Legna da ardere
Azienda Odescalchi	Bracciano	Ceduo matricinato	Castagno	Legname da lavoro
Azienda Selva Silva	Sutri	Ceduo matricinato	Castagno	Legname da lavoro

Particolare attenzione è stata rivolta al taglio effettuato nel comune di Bracciano, dove per la prima volta nei Monti Sabatini, la Ditta ha provveduto alla cippatura sul posto dei cimali. L'organizzazione di questo ultimo cantiere può brevemente essere riassunto come segue:

- abbattimento polloni
- esbosco pianta intera per mezzo di trattrice (foto 1)
- sistemazione dei polloni all'imposto (foto 2)
- eliminazione del cimale da parte degli operai preposti con l'ausilio della motosega (foto 3)
- accatastamento cimali e polloni (foto 4)



Foto 4.1: esbosco



Foto 4.2: sistemazione polloni all'imposto



Foto 4.3: eliminazione dei cimali



Foto 4.4: cimali accatastati

I campionamenti hanno abbracciato un arco di tempo differente a seconda dell'azienda considerata. Le operazioni di taglio sono state in tutti i casi eseguite dagli operatori mediante l'ausilio di motoseghe.

Per la determinazione del peso si è usato un dinamometro digitale dalla portata massima di 40 kg. Gli appezzamenti più importanti sono stati pesati singolarmente mentre mediante l'utilizzo di corde si è potuto compattare la ramaglia formando delle fascine e rendendo più agevole la determinazione del peso (foto 4.5).

Foto 4.5: preparazione della fascina da pesare



Le misure (Foto 4.6) sono state segnate su un apposito piedilista dove, oltre al peso della biomassa, sono stati appuntati i seguenti parametri:

- diametro a petto d'uomo
- diametro basale
- altezza pollone
- numero totale di piante campionate

Foto 4.6: misure prese in bosco



Elaborazione statistica dei dati

Si chiama “tariffa di biomassa” la legge matematica che correla i parametri macroscopici facilmente misurabili (d , h , $V...$) ai dati di biomassa (Decourt, 1973). Trattasi pertanto di equazioni allometriche il cui scopo è quello di quantificare la biomassa (B) partendo da quantità (V_i) che possono essere facilmente misurate dall’albero (Ketterings *et al.*, 2001), dunque:

$$B = f(V_1, V_2, \dots)$$

Tali equazioni vengono comunemente utilizzate per la realizzazione d’inventari forestali e per vari studi ecologici (Parde’, 1980). E’ bene precisare però che per la stima della massa epigea di una foresta si devono usare equazioni specie-specifiche poiché alberi di differenti specie hanno una diversa architettura e una diversa densità, dunque valori attendibili per un dato bosco non potrebbero esserlo per un altro (Ketterings *et al.*, 2001).

Un protocollo per la valutazione della biomassa forestale, basato sull’uso delle equazioni allometriche, implica due scelte principali:

1. scelta di una o più variabili (indipendenti) d’entrata da considerare;
2. scelta di un adeguato modello matematico, dunque di un’appropriata forma della curva allometrica, che meglio si adatti ai dati sperimentali.

Relativamente al punto 1, bisogna sottolineare che è sempre necessario trovare un compromesso nella scelta di variabili in grado di fornire un più alto livello di precisione, e quelle che risultano più facilmente utilizzabili. A tal proposito il diametro, o la circonferenza, misurati a 1,30 m dal suolo, rappresentano le grandezze più frequentemente utilizzate.

Variabili indipendenti più complesse sono rappresentate dai prodotti:

- $d \times d$;
- $d \times h$;
- $d^2 \times h$, quest’ultimo viene spesso usato perché risulta ben correlato al valore di biomassa totale (Scarascia Mugnozza *et al.* 2000).

Ai fini del seguente lavoro la scelta della variabile indipendente è ricaduta sul diametro misurato a 1,30m d’altezza, considerato che si tratta di un parametro in grado di fornire dei buoni risultati e allo stesso tempo si presenta di facile e veloce misurazione (Ranger, 1978).

Per quanto riguarda il punto 2, i modelli matematici più comunemente utilizzati sono i polinomi, le equazioni paraboliche e la trasformazione di queste ultime in forma logaritmica (Ketterings *et al.*, 2001; Ranger, 1981; Calamini *et al.*, 1983; Santa Regina *et al.*, 1997).

Nel presente studio il modello matematico utilizzato è del tipo:

$$Y = aX^b$$

dove:

Y = biomassa;

X = variabile dipendente;

a e b = parametri variabili.

Per l'analisi dei dati si è fatto ricorso al software Excel 2007; inoltre per valutare l'affidabilità delle equazioni di regressione si è fatto riferimento al coefficiente di determinazione R^2 che descrive la correlazione tra i punti necessari per la costruzione della curva e la curva stessa. Il valore del suddetto parametro è compreso tra 0 e 1: all'aumentare di tale valore, aumenta il significato della correlazione, e quindi l'affidabilità della funzione.

I dati raccolti sono stati pertanto sottoposti ad analisi statistica al fine di individuare le relazioni allometriche, da impiegare nella stima della biomassa in funzione di variabili elementari di diretta e semplice rilevabilità su piante in piedi.

La stima della biomassa relativa agli scarti (cimali) dell'intero popolamento si è articolata in più passaggi fondamentali:

- ✓ costruzione di una curva che meglio approssima i punti relativi alle piante campionate (coppia di punti diametro_{1,30}-biomassa cimale) ;
- ✓ individuazione dei valori di biomassa in relazione ai diversi diametri;
- ✓ conoscenza della distribuzione in classi diametriche dei soggetti appartenenti al soprassuolo analizzato;
- ✓ moltiplicazione del valore unitario di biomassa relativo ad una classe diametrica per la rispettiva frequenza dell'intero popolamento (dati riferiti all'ettaro);
- ✓ sommatoria dei valori di biomassa ottenuti per ogni classe diametrica e calcolo definitivo del valore totale di biomassa per tutto il popolamento analizzato.

In tabella 4.3 e 4.4 vengono riportati i dati relativi agli alberi campione selezionati all'interno delle aree di saggio i cui dati sono stati utilizzati per la costruzione delle curve allometriche (Fig. 4.2 e 4.3).

Tabella 4.3: dati relativi agli alberi campione (polloni di castagno) selezionati nel bosco ceduo di castagno

n° cimale	d _{1,30} (cm)	d _{chioma} (cm)	peso cimale (kg)	h tot. pollone (m)
1	17	10	29	20,4
2	13	9	23	18,3
3	12	7	19	17,3
4	16	9	29	19,7
5	15	9	28	19
6	20	13	34	22,3
7	20	13	33	19
8	17	10,5	30	20

Tabella 4.4: dati relativi agli alberi campione (polloni di castagno e cerro) selezionati nel bosco ceduo misto

n° cimale	d _{1,30} (cm)	peso scarti (kg)
1	17,5	23
2	17,5	17,4
3	19	25,5
4	15	12
5	15	13,5
6	11	9,5
7	11	9

Sulla base dei dati prelevati è stato inoltre possibile costruire la curva che meglio approssima la relazione che mostra il variare del peso del cimale al variare del diametro misurato a petto d'uomo (Fig.4.2 e 4.3).

Le curve costruite sulla base dei dati prelevati dagli alberi campione, hanno un'affidabilità buona, presentando un valore dell' R^2 piuttosto soddisfacente. Risulta pertanto evidente che la variazione del peso fresco dei cimali in funzione del diametro misurato a petto d'uomo segue un andamento regolare.

Figura 4.2: variazione della biomassa relativa agli scarti delle utilizzazioni in funzione del diametro a petto d'uomo (ceduo castanile)

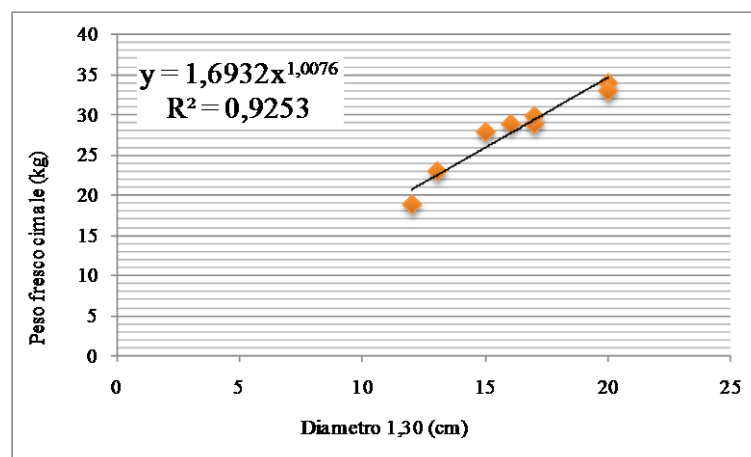
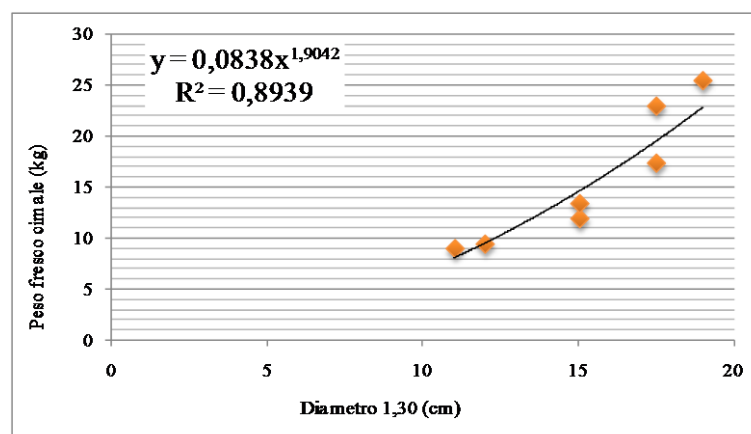


Figura 4.3: variazione della biomassa relativa agli scarti (cimale) delle utilizzazioni in funzione del diametro a petto d'uomo (ceduo misto)



A questo punto, sulla base della distribuzione diametrica relativa all'area di saggio è stato possibile stimare la quantità di biomassa secca degli scarti ottenibili all'ettaro. (Tab. 4.5 e 4.6)

Tabella 4.5: distribuzione diametrica e stima della biomassa (ceduo castanile)

d (cm)	n° polloni	pesi chiome per classe diametrica
10	3	51,7
12	6	124,2
14	4	96,7
16	8	221,3
18	11	342,7
20	2	69,3
22	2	76,3
24	0	0,0
		45,1
totale pesi chiome (kg) nell'area di saggio		1027,4
peso f. cimale (t/ha)		32,72
peso secco cimale (t/ha)		19,63

Tabella 4.6: distribuzione diametrica e stima della biomassa (ceduo misto)

d (cm)	n° polloni cerro	n° polloni castagno	pesi (kg) scarti per classe d. (cerro)	pesi (kg) scarti per frequenza classe d. (cerro)	pesi (kg) scarti per classe d. (castagno)	pesi (kg) scarti per frequenza classe d. (castagno)
8	0	12	4,4	0,0	4,4	52,7
9	0	2	5,5	0,0	5,5	11,0
10	1	9	6,7	6,7	6,7	60,5
11	0	0	8,1	0,0	8,1	0,0
12	0	15	9,5	0,0	9,5	142,7
13	1	10	11,1	11,1	11,1	110,8
14	3	8	12,8	38,3	12,8	102,0
15	0	2	14,5	0,0	14,5	29,1
16	2	4	16,4	32,9	16,4	65,8
17	0	3	18,5	0,0	18,5	55,4
18	0	2	20,6	0,0	20,6	41,2
19	0	0	22,8	0,0	22,8	0,0
20	0	1	25,2	0,0	25,2	25,2
21	1	0	27,6	27,6	27,6	0,0
22	1	0,00	30,2	30,2	30,2	0,0
				146,7		696,3
totale pesi scarti chiome (kg) nell'area di saggio				843,0		
peso f. scarti chioma (t/ha)				21,0		
peso secco scarti chioma (t/ha)				12,6		

Dai risultati appare evidente la stretta correlazione tra tipo di soprassuolo, tipo di utilizzazione e disponibilità di scarto. Infatti per il ceduo misto, a fronte di un prelievo di poco più di 150 t/ha di dispongono di soli 21 t/ha di scarti (peso fresco). Ciò equivale a dire che sul totale di massa prelevata si ottiene circa il 12% di biomassa recuperabile per fini energetici (senza alterare il normale utilizzo del prodotto principale, in questo caso legna da ardere per mercato locale). Va precisato che nel conteggio sono state escluse le matricine non sottoposte al taglio. Più interessante invece risulta il quantitativo di biomassa ottenibile da un diverso sfruttamento dei cedui castanili, in cui la principale fonte di reddito si ottiene dal prelievo di materiale da opera e il recupero dei cimali potrebbe rappresentare un ulteriore introito (Foto 4.7). In questo caso si possono ottenere più di 10 tonnellate in più all'ettaro di scarto rispetto alla situazione precedente (bosco misto utilizzato per solo legna da ardere).

Foto 4.7: ceduo castanile (Sutri) dove non è stato effettuato il recupero dei cimali e della ramaglia in seguito all'utilizzazione di fine turno



Nell'area di saggio relativa al ceduo castanile utilizzato a fine turno come materiale da opera e quindi privato del cimale perché non adatto alle lavorazioni in segheria, il rapporto tra il peso secco totale dei polloni analizzati e il contributo offerto dal cimale, è mediamente del 16%. Pertanto la percentuale di scarti applicata nel metodo AIGR-ENEA (fissata a 20% sul volume totale asportabile annualmente in un dato territorio) potrebbe sottostimare le reali condizioni

locali. Va comunque precisato che range di percentuali di scarto (rami e cimali) tra il 15% e 20% sul totale del peso della pianta, sono valori già riscontrati in letteratura (Sperandio & Verani, 1996)

Tabella 4.7: dati riassuntivi ceduo castanile (Bracciano)

Aree di saggio r=20 m Ceduo castanile	
h media (m)	14,66
d medio (cm)	16,44
volume m ³ /ha	183
massa cormometrica ritraibile (t peso fresco/ha)	164
massa cimale (t peso fresco/ha)	32,7
rapporto massa scarto/massa tot (%)	16,6

Le ipotesi avanzate nello scenario di sviluppo energetico prevedono una superficie annua al taglio pari solo al 4% rispetto al totale per quanto concerne i cedui. Dall'analisi dei dati messi a disposizione dal Parco invece si può osservare che mediamente nel territorio vengono effettuati tagli più consistenti, intervallati da annate in cui il soprassuolo viene solo moderatamente sfruttato. Infine nel lavoro originario si ipotizzano percentuali di legna destinate a legname da opera e legna da ardere diverse rispetto alle reali condizioni presenti nel territorio indagato. Infatti il castagno in queste località viene perlopiù utilizzato come legname da opera (in netto calo l'utilizzo in paleria) mentre difficilmente trova impiego come legna da carbone o carbonella. Pertanto anche gli scarti ottenuti in questa tipologia di utilizzazioni differisce inevitabilmente rispetto a quanto proposto nell'ipotesi di sviluppo energetico. Per le ragioni sopra esposte si è ritenuto interessante riproporre la stima inserendo le informazioni specifiche per l'area oggetto di studio. I risultati di tale analisi vengono riportate in tabella 4.8. Si precisa inoltre che il nuovo calcolo è stato effettuato tenendo conto dei soli soprassuoli governati a ceduo, distinguendo tra questi i cedui castanili dai cedui misti.

Tabella 4.8: situazione attuale disponibilità scarti biomassa dalle utilizzazioni forestali, (tabella di calcolo AIGR-ENEA modificata con parametri relativi ai boschi del Parco)

		Cedui castanili	Cedui misti	Totale
Superficie forestale	ha	1640	2399	4039
Superficie tagliata	ha/anno	72	41	113
	%	4,3	1,7	
Legna da lavoro	t/ha	200		200
	t/anno	14400		
Legna da ardere	t/ha		170	170,0
	t/anno		6970	
Umidità	%	40	40	
Totale legna	t/anno ss	13200	306	13506
Sottoprodotti forestali	%	16	12	
	t/ha ss	19,2	12,2	31,4
	t/anno ss	2112,0	36,7	2148,7

Prendendo ancora una volta come riferimento l'anno 2005, si propone una stima degli scarti ottenibili dalle normali utilizzazioni boschive. In questo caso, avendo cura di tenere differenziate le percentuali di scarto, le superfici realmente utilizzate, e le masse volumiche asportabili, si ottiene un valore di 2kt di sostanza secca disponibile per uso energetico.

Caratterizzazione della biomassa

Per un razionale utilizzo del legno come fonte di energia è di fondamentale importanza conoscerne le caratteristiche energetiche. Il valore energetico del legno viene espresso dal suo potere calorifico, definito come la quantità massima di calore che si può ottenere dalla combustione di un kg di legno. Si distinguono due tipi di potere calorifico:

potere calorifico inferiore che non tiene conto del calore che si libera quando il vapore acqueo prodotto durante la combustione si condensa, diventando acqua, e potere calorifico superiore che invece tiene conto anche del calore latente di condensazione.

E' evidente che il valore del potere calorifico del legno dipende molto dal contenuto di acqua in quest'ultimo. Infatti con la stagionatura aumenta il contenuto energetico del legno (Jonas *et al*, 2005). D'altro canto a parità di umidità relativa il potere calorifico varia poco al variare della specie considerata.

Al fine di ottenere informazioni circa le reali caratteristiche della biomassa ritraibile dai boschi locali per uso energetico, sono state effettuate alcune analisi di laboratorio, grazie alla collaborazione con il CIRDER (centro Interdipartimentale di Ricerca e Diffusione delle Energie Rinnovabili) di Orte. Le analisi per la determinazione del potere calorifico sono state eseguite grazie all'utilizzo del Calorimetro Isoperibolico Semi - Automatico (Ditta FKV S.r.l.) (Foto 4.8) dotato di un corpo bomba fisso con testa removibile per facilitare il caricamento del campione, e della capacità di campo di misura dalle 5000 alle 8000 calorie. La Bomba di Mahler consiste di un robusto recipiente cilindrico in acciaio inossidabile della capacità di circa 500 ml, munito di un coperchio avvitabile, che porta due elettrodi ed un rubinetto a spillo destinato all'immissione dell'ossigeno. Una piccola quantità (0,5 - 1 g) del combustibile in esame, viene introdotta in un crogiolo di platino o di silice, che è posto subito al di sotto dell'estremità dei due elettrodi, collegati ad un piccolo tratto di sottile filo di ferro. Chiuso il recipiente, vi si immette ossigeno a 25.330 Bar; si manda corrente nel filo che così diviene incandescente ed innesca la combustione del campione. Per misurare il calore sviluppato, si mantiene, durante la prova, la bomba immersa in un recipiente (calorimetro) contenente una quantità nota di acqua; l'innalzamento di temperatura che questa subisce, moltiplicato per la capacità termica massica dell'acqua ($4190 \text{ J/kg} \times \text{K}$) e per una costante caratteristica dell'apparecchio (K), costituisce la misura (salvo alcune correzioni) del calore sviluppato nella combustione, cioè il potere calorifico superiore (in quanto l'acqua di combustione in questa prova è allo stato liquido) del combustibile.

Il materiale analizzato è stato casualmente prelevato dai campioni di rotelle asportate in bosco a partire dagli alberi campioni dei polloni di castagno utilizzati per le misurazioni di campo.

Il materiale legnoso è stato dapprima triturato (Foto 4.9) per mezzo di un mulino a coltelli, dopodiché sono state preparate le "pasticche" per la bomba calorimetrica tramite un'apposita pressa (Foto 4.10). I pesi sono stati determinati per mezzo di una bilancia analitica (risoluzione 1 mg). I risultati ottenuti vengono mostrati nella tabella 4.9.

Tabella 4.9: potere calorifico dei campioni analizzati in laboratorio

	potere calorifico (kcal/kg)	MJ/kg	kWh/kg
	2845,21	11,89	3,30
	2845,21	11,89	3,30
	3047,28	12,74	3,54
	3107,75	12,99	3,61
	2915,11	12,19	3,38
	3050,20	12,75	3,54
	2850,10	11,91	3,31
	3106,11	12,98	3,61
	2843,10	11,88	3,30
	3047,27	12,74	3,54
	2845,30	11,89	3,30
	3108,10	12,99	3,61
	3060,20	12,79	3,55
	2965,74	12,40	3,44
	2876,19	12,02	3,34
media	2967,52	12,40	3,45

Va precisato che nel corso della stagionatura, la diminuzione del contenuto idrico del 10% comporta un aumento del contenuto energetico di circa 0,6 kWh/kg (AA.VV., 2009). Conoscendo il potere calorifico è possibile ricavare i kWh producibili attraverso l'utilizzo della biomassa. Nell'ipotesi infatti in cui venissero sfruttati gli scarti del comparto agricolo (circa 2kt/anno, cfr. tab. 4.8) si potrebbe avere una produzione di 6510 MWh.

Foto 4.8: calorimetro e bomba calorimetrica



Foto 4.10: materiale triturato



Foto 4.10: pressa



4.4 Verde urbano: stato dell'arte

Alcune amministrazioni comunali, conscie del ruolo e delle funzioni che gli spazi verdi possono assicurare nelle città, hanno cominciato, seppure spesso in modo disarticolato, a dotarsi di strumenti specifici per garantire la salvaguardia del verde urbano⁹. Sono nate così le prime norme di diverso genere e livello che riguardano la regolamentazione (caratteristiche, estensione, etc.) dei parchi, dei giardini, delle alberate, degli orti. Questo processo, che in Italia si sta affermando di recente, all'estero invece si è sviluppato e si è concretizzato già da diverso tempo. Una ricerca del 1990 (Profous e Loeb, 1990) indica che, secondo diverse modalità di intervento ed obiettivi perseguiti, la protezione del verde urbano e degli alberi interessa numerosi paesi dell'Europa, dell'Asia, dell'Oceania e delle Americhe. Tra i Paesi maggiormente interessati alla questione, si devono riportare gli USA nei quali la regolamentazione del verde si è affermata e consolidata al punto di diventare uno degli elementi base per la gestione degli spazi urbani in generale, coinvolgendo sia la proprietà pubblica che quella privata (Cooper, 1996; Houde, 1997) specie, negli ultimi anni, nell'ambito della riconversione e riqualificazione urbanistica. Per quanto riguarda il vecchio continente le norme per la salvaguardia delle alberature sono molto diffuse in Gran Bretagna (Profous e Loeb, 1990; Mackintosh, 1987) dove si sono affermate come uno degli strumenti per la salvaguardia della identità di luoghi storici quali parchi, filari e giardini di età vittoriana. In Italia la regolamentazione del verde urbano, nelle diverse forme e livelli, potrebbe rappresentare uno degli elementi base per garantire non solo un'efficiente politica di settore, ma soprattutto per garantire un uso più razionale della risorsa suolo e per contribuire a garantire una riconoscibilità delle identità dei luoghi. Gli strumenti a disposizione sono diversi e comprendono le ordinanze sindacali e le deliberazioni ad hoc oppure veri e propri regolamenti o allegati afferenti alle normative urbanistiche ed edilizie (Piani Regolatori, Norme Tecniche di Attuazione, Regolamenti Edilizi, etc.).

¹ Gli spazi verdi urbani sono definiti da molti autori anche come "foresta urbana" ovvero l'insieme della vegetazione compresa nell'ambito urbano, suburbano e nelle zone agricole limitrofe ai centri abitati. Tale foresta comprende i parchi, i giardini, gli orti, le fasce di rispetto stradali e ferroviarie, le sponde di corsi d'acqua, gli incolti, ecc.

Il ruolo dei comuni è fondamentale sia per le responsabilità demandate in materia di pianificazione del territorio sia per il fatto che risultano essere i proprietari e gestori di gran parte del verde urbano pubblico presente nei nostri centri urbani¹⁰

Un'indagine svolta nel 2001 dalla Facoltà di Agraria dell'Università di Bari ha avuto l'obiettivo di fare il punto dello stato dell'arte della regolamentazione del verde urbano in Italia. Sul campione determinato (84 comuni) solo 19 amministrazioni, pari al 23 %, risultano essere dotate di un regolamento del verde. In particolare tale strumento risulta essere diffuso al Centro Nord Italia dove interessa 16 comuni (12 al nord e 4 al centro).

La filiera città-legno-energia

La vita di un albero in ambiente urbano e periurbano si differenzia molto da quella in un ambiente naturale; qua le piante subiscono maggiori danneggiamenti dovuti agli urti delle automobili o alla realizzazione di scavi invasivi e presentano più frequentemente problemi di cavità, carie e attacchi fungini, che presuppongono interventi mirati alla conservazione di ogni individuo. La manutenzione delle alberature in tali ambienti, come ad esempio lungo la rete stradale, comporta quindi potature periodiche e abbattimenti di molti soggetti.

La potatura, intesa nella sua accezione moderna, ha perso il suo antico carattere di "arte", per diventare una operazione di tecnica colturale basata su precise nozioni scientifiche. Lo scopo principale che si vuole ottenere con la sua applicazione è quello di regolare l'attività vegetativa in funzione del suo valore estetico-funzionale. In particolare, per quanto riguarda l'ambiente urbano, essa deve essere finalizzata al conseguimento di alcuni obiettivi come:

- ✓ favorire la longevità della pianta;
- ✓ mantenere il più possibile il portamento scelto;
- ✓ risolvere problemi di stabilità, verticalità ed ingombro;
- ✓ rimuovere focolai di infezione, soprattutto fungina.

Inoltre, nel rispetto degli scopi primari che si prefigge la gestione del verde urbano, è importante che le operazioni di potatura mirino innanzitutto alla rimozione dei possibili rischi

¹⁰ Porzioni di verde urbano possono afferire ad altri enti pubblici, quali Amministrazioni Provinciali (verde scolastico), Ministero dei Beni Culturali (giardini e parchi annessi a dimore e palazzi storici), Regioni (verde di contorno ai fiumi)

verso i fruitori (schianti, cadute, ecc.) attraverso la eliminazione sollecita dei rami secchi e delle branche cariate, nonché ad assicurare la massima longevità possibile delle piante evitando loro per quanto possibile mutilazioni immotivate della chioma. Gli obiettivi che si devono raggiungere nella coltivazione arborea del verde urbano riguardano innanzitutto un elevato valore ornamentale e cioè la maggior aderenza possibile dell'esemplare a quello che è il portamento naturale della specie e il favorire la massima longevità, compatibilmente con gli stress urbani esistenti. L'albero deve essere "guidato" e impostato affinché riesca a vegetare in un ambiente antropizzato ed inquinato, caratterizzato inoltre da sesti di impianto ravvicinati.

Importantissimi nel condizionare il tipo di potatura sono i turni di potatura adottati. Spesso le Amministrazioni pubbliche decidono di potare raramente, ma drasticamente, eseguendo la capitozzatura, ottenendo così un occasionale carico di legna e il certo indebolimento nel tempo della pianta. (Paolinelli, 1984). Con turni molto lunghi è inevitabile che i tagli avranno ampie sezioni che rappresentano sicure vie d'ingresso di agenti patogeni.

Pur non essendoci regole fisse alcuni esperti consigliano orientativamente di adottare i seguenti turni di potatura:

- ✓ fino a 10 anni tagli di allevamento ogni 2 anni;
- ✓ da 10 a 40 anni potatura ogni 5 anni;
- ✓ oltre i 40 anni potatura ogni 10 anni.

Nella maggior parte dei casi i residui derivanti dalle operazioni di manutenzione del verde urbano, privato e pubblico, vengono avviati alle discariche come rifiuti organici o rifiuti solidi urbani (RSU). La possibilità quindi di riutilizzare la ramaglia per scopi energetici rappresenta anche una modalità di valorizzazione dei suddetti scarti. Infatti tale materiale ha un possibile utilizzo energetico, come stabilito dal D.P.C.M. 8 marzo 2002, che individua le caratteristiche merceologiche dei combustibili aventi rilevanza ai fini dell'inquinamento atmosferico.

Nella consapevolezza che le filiere città-legno-energia possano contribuire solo marginalmente per l'apporto di materiale utilizzabile come combustibile, si ritiene di procedere comunque con lo studio di tale comparto anche per le molteplici ricadute positive che questo può attivare:

- ✓ stimolare una revisione razionale nella gestione del verde;
- ✓ valorizzare gli scarti provenienti da un'adeguata gestione del verde urbano;
- ✓ differenziare le attività economiche delle imprese di gestione del verde;
- ✓ portare a una riduzione dei costi dei cantieri di potatura e abbattimento;

- ✓ avviare una campagna di comunicazione ambientale rivolta alla cittadinanza sui temi delle energie rinnovabili

Gli aspetti relativi alla progettazione e alla manutenzione del verde urbano sono affrontati generalmente in maniera marginale; scarseggiano le indicazioni di tipo tecnico per la valorizzazione economica o energetica dei residui legnosi.

Oltre alle norme che interessano la gestione del verde urbano in materia fitosanitaria e lotta obbligata al cancro colorato del platano (Decreto del Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste 3.9.1987), esistono tre testi di riferimento per quanto riguarda la gestione del verde stradale:

- DPCM n.377/88 "Regolamentazione delle pronunce di compatibilità ambientale",
- DPCM del 27.12.1988 "Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione del giudizio di compatibilità", che si riferisce alle grandi vie di comunicazione
- "Codice della strada" DPR 495 del 16.12.1992 che regola la viabilità ordinaria.

Recentemente è stato poi approvato il Decreto Legislativo Unico in materia ambientale (DLGS 152/2006) che ha accorpato numerose norme in materia di rifiuti e combustibili. I rifiuti vengono catalogati e classificati assieme alla loro provenienza e destinazione (recupero di materia e recupero di energia) nel rispetto della normativa europea. I combustibili sono disciplinati in base alle loro caratteristiche merceologiche, energetiche e alle particolarità tecniche degli impianti di combustione. Lo stesso decreto è stato oggetto di un recente aggiornamento, entrato in vigore il 18 febbraio 2008 (Decreto Legislativo 4/2008).

L'attuale sistema di smaltimento dei residui legnosi prevede che questi vengano conferiti presso gli impianti di compostaggio. Le imprese di manutenzione del verde si occupano della raccolta e del conferimento dei residui legnosi che viene utilizzato per dare struttura al compost. Questo sistema risulta essere gravoso per le imprese che devono sostenere dei costi per lo smaltimento dei residui del verde, circa 40 €/t. Per questa ragione le imprese del verde cercano forme alternative di smaltimento della componente legnosa. Al fine di verificare lo stato attuale in materia di smaltimento delle potature in città, sono state effettuate delle interviste compiute nel corso della ricerca coinvolgendo alcune ditte appaltatrici di lavori di gestione del verde urbano nei comuni del Parco. Dalle interviste è emerso che, proprio per ridurre i costi ai quali le stesse ditte sono sottoposte per effettuare un regolare smaltimento delle potature, la componente più pesante dei residui legnosi viene riutilizzata principalmente

attraverso l'autoconsumo da parte delle imprese di manutenzione del verde o tramite la distribuzione gratuita ai cittadini nei pressi dei cantieri.

La produzione di combustibili legnosi dal verde urbano dipende dalle caratteristiche peculiari e dalle funzioni specifiche delle diverse tipologie di aree verdi e dalla possibilità di allestire cantieri di abbattimento e potatura economicamente efficienti.

Nell'ottica di una gestione razionale del patrimonio arboreo, non tutte le categorie di verde urbano rivestono un interesse per la produzione di combustibili legnosi. Per quanto riguarda il verde storico, il verde ricreativo e quello ornamentale o di arredo, gli interventi sulla componente arborea sono minimali e mirano alla sostituzione di piante morte o pericolanti. In questi casi, nonostante sia possibile ricavare residui legnosi di qualità, non è conveniente attrezzare cantieri di utilizzazione orientati alla produzione di cippato.

In linea generale, ogni pianta d'alto fusto in filare, con turno di potatura quindicennale, può produrre una quantità media annua di 200-250 kg di legno destinabile ad uso energetico (APAT, 2002). I filari alberati possono produrre interessanti quantitativi di legna, questi infatti sono soggetti a potature regolari e a sostituzioni programmate.

Attualmente non esiste un rilievo puntuale condotto a livello nazionale sulle disponibilità annuali di biomasse ligno-cellulosiche nell'ambito della manutenzione del verde urbano.

In linea di massima, semplici stime per i capoluoghi di provincia possono condurre a quantità variabili da alcune centinaia ad alcune migliaia di tonnellate di legno all'anno ricavabile dalla gestione del verde urbano, e dai giardini sia pubblici che privati. Nel Rapporto Rifiuti Urbani ANPA 2009 (AA.VV., 2010) vengono riportati, come dato a livello nazionale, più di 1 milione di tonnellate come "verde", corrispondente al 10,8% sul totale della raccolta differenziata. Per il solo Comune di Roma sono state stimate poco più di 14 kt di sostanza secca disponibile annualmente ottenuta durante i lavori di manutenzione del verde urbano (AA.VV., 2002a).

E' evidente che solo a partire da una stima precisa della quantità di biomassa disponibile localmente è possibile la creazione di una filiera legno-energia urbana, pertanto in tale contesto si è cercato di ottenere informazioni il più possibile attendibili e riferibili all'area oggetto di studio.

Stima degli scarti da potature nel Parco

Vista l'ampia variabilità di specie a livello di alberature in ambito urbano e la conseguente ampia differenziazione a livello di accrescimenti, la stima dei residui da potature è stata effettuata in base alla formula dell'incremento corrente.

Il processo analitico si basa, oltre che sulla stima del numero di piante presenti all'interno di ciascun comune, anche sulla valutazione del corrispondente incremento corrente annuo per pianta.

L'incremento corrente di volume è calcolato in base alla “formula generale” (equazione 4.1)

$$\Delta v = V ((2\Delta d/d) + (\Delta h/h) + (\Delta f/f)) \quad (\text{eq. 4.1})$$

con:

$$V = (d^2/(4 \pi)) h * f \quad (\text{eq. 4.2})$$

dove:

Δd = incremento corrente del diametro del fusto a petto d'uomo, cioè a 1,30m (m);

d = diametro del fusto a petto d'uomo (m);

Δh = incremento corrente di altezza (m);

h = altezza (m);

Δf = variazione annua del coefficiente di riduzione ordinario;

f = coefficiente di riduzione ordinario.

L'accrescimento riferibile alla ramaglia deriva pertanto dalla differenza tra l'incremento corrente annuo di massa dendrometrica e quello riferibile alla massa cormometrica; formalmente avremo:

$$\Delta v_{\text{ramaglia}} = (((2\Delta d_D/d) + (\Delta h_D/h_D)) - (2\Delta d/d)) * ((d^2/(4 \pi)) * h_D * f_D) - ((d^2/(4 \pi)) * h_C * f_C) \quad (\text{eq.4.3})$$

Dove il suffisso D indica la variabile riferita ai caratteri dendrometrici e C a quelli cormometrici.

Per arrivare a calcolare il volume di ramaglia prelevabile annualmente dal singolo albero sono state fatte le seguenti ipotesi:

- la variazione annua del coefficiente di riduzione (Δf) è pari a 0¹¹;
- la variazione annua di altezza riferita all'accrescimento cormometrico è pari a 0¹²

¹¹ L'ipotesi è infatti quella di interventi su piante mature, che vengono cioè mantenute a dimensioni e forme “standard”.

Le variabili dendrometriche utilizzate, rappresentative di “alberi medi” del verde urbano, possono essere così sintetizzate (Bernetti *et al*, 2009):

Δd	= 0,01 m
d	= 0,60 m
Δh_D	= 0,8 m
h_D	= 15 m
h_C	= 7 m
f_D	= 1,5
f_C	= 1

Per ottenere dunque l’incremento annuo, e quindi la quantità di volume annualmente asportabile attraverso le operazioni di potatura dalle alberature stradali, è stato eseguito un censimento, dapprima tramite fotointerpretazione, quindi con controlli a terra, delle alberature principali presenti all’interno dei confini del Parco (Foto 4.8). In particolare sono state fotointerpretate i viali alberati delle principali arterie stradali. In seguito a campionamento a terra sono state individuate:

- le principali specie rappresentate (Tab. 4.10)
- la frequenza delle diverse specie,
- le variabili dendrometriche (altezze e diametri per controllare la veridicità dei valori utilizzati nell’equazione proposta).

Tabella 4.10: specie rappresentate e loro frequenza

<i>Pino domestico</i>	<i>Platano</i>	<i>Tiglio</i>	<i>Pioppo</i>
372	335	49	54

Il valore di incremento annuo prelevabile da una singola pianta, ottenuto dall’uso dell’equazione 4.3 risulta essere pari a 0,023 m³. Il valore è stato quindi rapportato alla frequenza delle piante stimate tramite fotointerpretazione. I risultati sono mostrati in tab. 4.11

Tabella 4.11: tonnellate di sostanza fresca ottenibile annualmente dalle potature dei viali alberati del Parco

<i>n° piante adulte in viali</i>	<i>incremento annuo potato (m³)</i>	<i>t/anno potatura</i>
810	0,023	16,7

¹² Considerando l’ipotesi della nota precedente, l’inserzione dei rami e quindi l’altezza del fusto rimarranno invariate anche dopo l’intervento di potatura

Va inoltre considerato che nella realtà difficilmente si assiste ad una potatura annua regolare mentre più facilmente vengono praticate potature consistenti ripetute ciclicamente ogni 4-5 anni.

I risultati ottenuti dall'uso dell'equazione 4.3 abbinati a uno studio delle alberature presenti, risultano piuttosto in linea con quanto riscontrato in bibliografia per altri lavori (Tab. 4.11).

Tabella 4.11: sviluppo della massa dendrometrica di un albero al variare dell'età e relativa produzione di legna asportata con le potature (in questa ipotesi si considera di asportare il 25% della massa blastometrica ogni 5 anni a partire dal 20° anno della pianta)

Età della pianta (anni)	Massa dendrometrica (m³)¹	Massa dendrometrica kg (u 15%)²	Massa blastometrica kg (u 15%)³	Massa prodotta dalle potature kg (u 15%)⁴
25	0,3	195	48,75	12,18
30	0,4	260	65	16,25
35	0,55	357,5	89,37	22,34
40	0,65	422	105	26,37
45	0,8	520	130	32,5
50	0,9	585	146,25	36,56
55	1,15	747,5	186,87	46,71
60	1,4	910	227,5	56,87

1 La massa di legno della parte epigea dell'albero (fusto e rami) fonte dei dati Hellrigl 1973

2 I dati si riferiscono al legname secco con contenuto di umidità pari al 15%, si è considerato un dato medio di 650 kg/m³, fonte dei dati Giordano.

3 La massa di legno dei rami di un albero, si considera un 25% della massa dendrometrica

4 La produzione di legna secca ottenuta dalle potature considerando un taglio pari al 25% della massa blastometrica

Fonte: Aiel, 2004

Foto 4.8: viale alberato (Trevignano)



5 Applicazione di un modello per la quantificazione della biomassa forestale

Solo la pianta non dipende altro che dagli elementi, perché solo lei è in grado di assimilarli trasformandoli.

J. Brosse, 1991 "Mitologia degli Alberi"

5.1 Introduzione

Il presente capitolo è il frutto dell'attività svolta nell'ambito di una collaborazione nata per il progetto KEI-EXTENSION tra Esa-Esrin (European Space Agency), Intrega srl (Spin-off Enea) e Meeo srl (Meteorological Environmental Earth Observation). In tale contesto è stato sviluppato un modello per la stima della biomassa forestale, chiamato CTS (Carbon Stock Service) implementato come modulo software nella piattaforma KEO e basato sulle equazioni del modello 3-PG (Physiological Processes Predicting Growth).

Il modello prodotto rappresenta un valido strumento di supporto per la quantificazione degli stock di carbonio in bosco. Questo fornisce mappe di stock di carbonio per aree forestali specifiche, integrando i dati ottenuti via satellite e con quelli presenti in situ. Il nuovo modello implementa le equazioni dei modelli 3-PG e 3-PGs; per valutare gli stock di carbonio delle foreste sono utilizzati i dati satellitari, ma qualora questi non siano disponibili, vengono utilizzate le equazioni del modello 3-PG. Pertanto il modello così costruito rappresenta un valido strumento in grado di restituire stime sia per piccole che per grandi aree boscate. Va precisato che si tratta di un modello specie-specifico che quindi può essere utilizzato attualmente nell'ambito di soprassuoli omogenei. Va pertanto parametrizzato per ciascuna specie attraverso la calibrazione dei parametri in ingresso al fine di ottenere risultati il più possibili attendibili. Il modello CTS utilizza input di formati diversi, come semplici valori o parametri, dati vettoriali e file GeoTIFF e dati telerilevati.

Nell'ambito del progetto KEI-EXTENSION il modello è stato calibrato per i castagneti del Parco dei Castelli Romani; in questo lavoro è stato applicato alla principale tipologia di soprassuoli forestali presente nell'area del Parco di Bracciano proprio per valutare la bontà dei parametri fisiologici scelti in fase iniziale. In futuro, sulla base dei dati ottenuti, sarà possibile quantificare il contributo che viene offerto da questi nella stima della quantificazione di carbonio stoccato nell'area protetta.

5.2 Modelli di stima

Nell'ambito della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) ciascun Paese industrializzato, di cui all'allegato I della Convenzione, deve riferire annualmente un inventario nazionale delle emissioni antropiche di gas ad effetto serra (GHG) dalle diverse fonti. La GPG-LULUCF (Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and forestry (IPCC, 2003), proposta dall'IPCC fornisce i metodi e linee guida per la stima, la misurazione, e registrazione dei cambiamenti di stock di carbonio ed emissioni di gas ad effetto serra. Le metodologie proposte in GPG-LULUCF sono organizzate secondo i diversi settori implicati, riportati nella tabella 5.1. Tra le categorie proposte in GPG-LULUCF, l'uso del suolo forestale è uno dei più rilevanti, proprio in virtù dei grandi flussi di gas a effetto serra generati dalla gestione delle foreste e cambiamenti di uso del suolo. Inoltre, negli ultimi anni, la ricerca si è focalizzata sul settore forestale in seguito all'attuazione del protocollo di Kyoto, che ha elevato il ruolo delle foreste nel ciclo globale del carbonio come componente chiave nei negoziati internazionali (Murray B.C., *et al*, 2000). Il carbonio forestale ha effettivamente il potenziale per diventare un bene economico scambiabile secondo precise regole di mercato; ne consegue un sempre più crescente interesse alla quantificazione dello stoccaggio del carbonio nelle foreste in modo trasparente e verificabile. Conseguentemente negli ultimi decenni sono stati sviluppati diversi modelli per analizzare i bilanci e i flussi del carbonio a livello dei soprassuoli forestali. La maggior parte di questi modelli ha dimostrato differenze sostanziali tra i risultati ottenuti tramite la loro applicazione e quelli derivati dalle osservazioni dirette (Homann P.S., 2000). Ultimamente solo i modelli forestali basati su processi fisiologici hanno raggiunto un buon livello di affidabilità (Waring R.H., 1998).

Tabella 5.1: definizioni per i pool terrestri

Pool		Descrizione
Biomassa viva	Biomassa epigea	Tutta la biomassa epigea viva (tronco, rami, foglie, corteccia, semi...)
	Biomassa ipogea	Tutta la biomassa delle radici viventi. Le radici fini con diametro inferiore ai 2mm di diametro sono spesso escluse poichè queste non possono essere distinti empiricamente dalla materia organica del suolo o lettiera.
Sostanza organica	Legno morto	Include tutto il legno morto non contenuto nella lettiera, sia in piedi, a terra, o nel terreno. Il legno morto include il legno trovato sulla superficie, radici morte, e ceppaie maggiore o uguale a 10 cm di diametro o di qualsiasi altro diametro utilizzati.
	Lettiera	Comprende tutta la biomassa non vivente con un diametro inferiore a un diametro minimo scelto dal paese (ad esempio 10 cm), giace morto, in vari stati di decomposizione al di sopra della componente minerale o organica del suolo. Le radici vive sono incluse nella lettiera qualora non possano essere distinte da essa empiricamente.
Suolo	Materia organica del suolo	Include il carbonio organico in minerali e residui organici (anche torba) fino ad una profondità specifica scelta da parte del paese. Le radici fini inclusi con la materia organica del suolo dove non può essere distinto da esso empiricamente.

In tabella 5.2 viene proposta una schematizzazione delle caratteristiche principali di alcuni modelli presenti in letteratura e analizzati nell'ambito del Progetto KEI.

Tabella 5.2: principali caratteristiche dei modelli analizzati nell'ambito del progetto KEI

Model	Country	Time step	Model Type	Code availability	Spatial Scale	C pools	Chemical constituents				Remotely sensed data	Accurate estimates	Scientific literature
							C	N	S	P			
3PG	Australia	monthly	Process based	X	Any	3	x				x	X	x
Bioma-Bgc	USA	daily	Process based	X	Any	8	x	x			X	X	X
Century	USA	monthly	Process based	X	Any	12	x	x	x	X		x	x
For-Est	Europe	annual	Growth curves and empiric		Any	5	x						

I modelli empirici forniscono informazioni quantitative esatte entro i limiti di precisione di campionamento e di misura, sono però generalmente sito-specifici, e non possono simulare i risultati delle condizioni mutevoli (es. la siccità). Invece tramite i modelli *process-based*, basati appunto su processi fisiologici che regolano la crescita dell'albero, si possono ottenere stime della produttività potenziale dei siti per i quali non esistono dati provenienti da misurazioni, quindi calcolare la crescita e valutare gli effetti di azioni come il diradamento o l'impatto di parassiti e le malattie sulla produttività. Inoltre i modelli *process-based* hanno raggiunto un buon livello di affidabilità con stime sufficientemente accurate per diversi pool di carbonio. Infine, il grande vantaggio di questi modelli è quella di poter sfruttare le numerose informazioni ottenute mediante telerilevamento. Pertanto, la combinazione di un modello *process-based* con dati ottenuti dal telerilevamento e implementazione di un sistema georeferenziato (GIS) rappresenta un importante strumento per stimare la crescita delle foreste anche su ampia scala.

Tra i quattro modelli presi in considerazione, il 3-PG e il BIOME-BGC sono modelli in grado di utilizzare dati telerilevati come input, ma solo 3-PG ha una versione specifica per il loro uso con una ampia documentazione in letteratura scientifica. Il 3-PG, il BIOME-BGC e il Century sono modelli che sono stati adottati e ampiamente collaudati in diversi progetti di ricerca internazionali. Essi offrono risultati accurati e la loro calibrazione e validazione risulta ben documentata in letteratura, ma a differenza degli altri, il 3-PG necessita di meno parametri. Si è preferito scegliere un modello in cui venisse considerato il solo ciclo del carbonio tralasciando gli altri nutrienti, e che considerasse il più basso numero di pool in cui l'NPP possa essere ripartita. In virtù delle motivazioni esposte nel progetto KEI-EXTENSION la scelta è ricaduta su un modello *process-based*: il modello 3-PG. Quest'ultimo è un modello a base funzionale di crescita del bosco (Landsberg et Waring 1997; Waring et McDowell 2002; Sands e Landsberg 2002).

Esistono attualmente due differenti versioni di tale modello:

- ✓ versione 3-PG che usa dati di campo, territoriali e parametri eco-fisiologici;
- ✓ versione 3-PGS che utilizza anche dati satellitari, semplificando il processo di calcolo della biomassa forestale e permettendo l'uso del modello su una area più vasta rispetto alla singola parcella forestale.

Entrambe le versioni sono state implementate nel modulo disponibile nella piattaforma KEO. In letteratura si ha una buona documentazione delle attività svolte attraverso l'implementazione del modello, in entrambe le versioni (Dezi et Magnani, 2007; Landsberg J.J., et al., 2001; Waring R.H., 2000; Almeida et al. 2004; Dye et al. 2004; Espey L. J., 2004;

Stape et al. 2004; Landsberg et al. 2003; Sands et Landsberg 2002; Coops et al. 2001; Coops et al. 1998. Il modello è stato già utilizzato e testato anche in diverse zone italiane nell'ambito di attività di ricerca specifiche (Magnani et al., 2005; Papale D., 2006).

5.3 Il modulo CTS

Dati di input

Il modello per la stima della biomassa forestale implementato come modulo software nella piattaforma KEO necessita di alcuni dati input tra cui i valori medi mensili di FPAR (frazione percentuale di radiazione fotosinteticamente attiva) per ogni anno nel quale il modello gira, i dati meteorologici, specie-specifici e sito-specifici elencati di seguito, da fornire nei formati previsti dalle specifiche. Nelle tabelle che seguono (5.3, 5.4) vengono schematizzati i parametri di cui necessita il modello.

Tabella 5.3: dati climatici necessari al modello

<i>Parametro</i>	<i>Descrizione</i>
T max (°C)	Medie delle temperature massime mensili
T min (°C)	Medie delle temperature minime mensili
Rain (mm)	Precipitazioni totali mensili
Frost_Days	Numeri medi mensili dei giorni di gelo
Solar_Rad (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Valori medi mensili della radiazione solare giornaliera

Tabella 5.4: input che descrivono il sito e le condizioni iniziali del popolamento forestale preso in esame (dati sito/specie-specifici)

Parametro	Descrizione
Start_Age	Età del popolamento forestale al momento iniziale del run del modello
End_Age	Anno in cui si vuole arrivare alla fine del run del modello
Year_Planted	Anno in cui il popolamento forestale è stato piantato
Latitude	Latitudine del sito
WFi (t/ha)	Biomassa fogliare nell'anno di inizio del run del modello
WSi(t/ha)	Biomassa del fusto nell'anno di inizio del run del modello
WRi (t/ha)	Biomassa radicale nell'anno di inizio del run del modello
StemNo	Numeri di alberi/ettaro
Fertility	Valore di fertilità del sito: da 0 (fertilità bassa) ad 1 (fertilità alta)
Soil_Class	Descrizione generale della tessitura del suolo: 1- Sand; 2- Sandy loam; 3- Clay loam; 4- Clay
Maximum_ASW (mm)	Contenuto massimo di acqua disponibile nel suolo
Minimum_ASW (mm)	Contenuto minimo di acqua disponibile nel suolo
ASWi (mm)	Contenuto iniziale di acqua nel suolo

Un'informazione di input fondamentale è costituita dal file 'physiological' che riporta i valori dei parametri ecofisiologici specie-specifici della specie forestale presa in esame. Questi vengono descritti in tabella 5.5.

Tabella 5.5: parametri fisiologici richiesti dal modello

Parametro	Descrizione
growthTmin (°C)	Temperatura minima per la crescita della pianta
growthTopt (°C)	temperatura ottimale per la crescita della pianta
growthTmax (°C)	Temperatura massima per la crescita della pianta
kF	Numero di giorni di produzione persi per ogni giornata di gelo
MaxCond (m s ⁻¹)	Massima conduttanza della canopy
CoeffCond	Risposta della conduttanza della canopy ai valori del deficit della pressione di vapore atmosferico
BLcond (m s ⁻¹)	Boundary layer conductance o Conduttanza aerodinamica
alpha	Maximum canopy quantum efficiency
LAIgcx (m ² m ⁻²)	Valore di LAI alla massima conduttanza della canopy
MaxIntcptn	Frazione massima di pioggia intercettata dalla canopy
LAImaxIntcptn (m ² m ⁻²)	LAI for maximum rainfall interception
SLA1 (m ² kg ⁻¹)	Area specifica fogliare per foreste mature
SLA0 (m ² kg ⁻¹)	Area specifica fogliare per foreste giovani
tSLA	Età del popolamento in cui $SLA = \frac{1}{2}(SLA0 + SLA1)$
pFS20	Rapporto fra il valore di partizione fogliare sul valore di partizione del fusto quando il diametro medio del popolamento = 20 cm
pFS2	Rapporto fra il valore di partizione fogliare sul valore di partizione del fusto quando il diametro medio del popolamento = 2 cm
k	Coefficiente di estinzione per la PAR assorbita dalla canopy
gammaFX	Tasso di caduta fogliare per foreste mature
gammaF0	Tasso di caduta fogliare per foreste giovani
tgammaF	Età del popolamento forestale in cui si raggiunge il valore medio di caduta fogliare
wSx1000 (kg/albero)	Valore massimo possibile per la massa di un fusto arboreo in un popolamento maturo con 1000 alberi /ha
mF	Frazione di NPP allocato alle foglie
mR	Frazione di NPP allocato alle radici
mS	Frazione di NPP allocato al fusto
StemConst	Parametro allometrico del fusto
StemPower	Parametro allometrico del fusto

E' bene precisare che tali valori possono essere ricavati da bibliografia ma, nel caso non fossero reperibili per la specie in esame occorre calibrare i valori inseriti partendo da quelli presenti di default. Nella calibrazione occorre fare attenzione in particolare a quei parametri che presentano un'alta sensibilità ossia che possono dare grandi variazioni nell'output del modello variando leggermente il valore. Nella tabella 5.6 sono riportati i gradi di sensibilità di ogni singolo parametro eco-fisiologico suddivisi in 3 classi : L - Bassa; M- Media; H - Alta.

Tabella 5.6: parametri ecofisiologici e relativi gradi di sensibilità. (In grassetto sono evidenziati i parametri che servono solo se si utilizza il modello non satellitare 3-PG ma che non vengono presi in considerazione nel 3-PGS).

Parametro	Sensibilità
growthTmin	L
growthTmax	L
growthTopt	M
kF	L
MaxCond	H
CoeffCond	L
BLcond	L
alpha	H
LAIgcx	L
MaxIntcptn	M
LAImaxIntcptn	L
pFS20	H
pFS2	H
SLA0	L
SLA1	H
tSLA	L
k	M
gammaFX	H
gammaF0	L
tgammaF	L
wSx1000	L
mF	L
mR	L
mS	L
StemConst	M
StemPower	H

Calcolo della Produzione di biomassa

Il cuore del modello è rappresentato dal calcolo della biomassa forestale che si basa sulle seguenti osservazioni sperimentali:

- la produzione epigea (data dalla somma della biomassa fogliare più quella del fusto) è linearmente correlata con la radiazione intercettata;
- la produzione lorda (Gross Primary Production - GPP) è proporzionale alla radiazione intercettata.

La radiazione intercettata (Q_{int}) è calcolata dal modello tramite la legge di Beer:

$$Q_{\text{int}} = (1 - e^{-kL})Q_0$$

Dove:

Q_0 = radiazione solare (dato richiesto come input climatico dal modello)

k = coefficiente di estinzione (richiesto fra i parametri fisiologici)

L = LAI

Questo è a sua volta dato dalla relazione:

$$\text{LAI} = \text{WF} * \text{SLA} * 0.1$$

Dove:

WF è la biomassa fogliare iniziale e $\text{SLA} = \text{SLA1} + (\text{SLA0} - \text{SLA1}) * e^{-\ln 2 * (\text{Età corrente} / \text{tSLA})^2}$;
in cui:

SLA1= Area specifica fogliare per foreste mature (richiesto fra i parametri fisiologici)

SLA0= Area specifica fogliare per foreste giovani (richiesto fra i parametri fisiologici)

tSLA= Età del popolamento in cui $\text{SLA} = \frac{1}{2}(\text{SLA0} + \text{SLA1})$ (richiesto fra i parametri fisiologici).

Una volta ottenuta la radiazione intercettata, il modello calcola la GPP tramite la seguente equazione:

$$\text{GPP} = \alpha_c * Q_{\text{int}}$$

Dove:

α_c è la canopy quantum efficiency (o light use efficiency). Questa dipende dai fattori climatici e dalle condizioni del sito preso in esame ed è in grado di influenzare notevolmente la crescita del popolamento forestale.

Dalla GPP vengono sottratte le perdite ottenute con la respirazione che è considerata costante. Di conseguenza la NPP è data dal 47% della GPP (Waring et al., 1998).

La versione satellitare presenta alcune differenze di calcolo per giungere alla stima della GPP. La prima differenza sta nel fatto che in questo caso il LAI viene calcolato a partire dalla FPAR e cioè:

$$LAI = -2 * \log(1 - FPAR)$$

Anche nella versione satellitare il modello calcola la NPP come percentuale della GPP; questa a sua volta è definita attraverso appositi valori di conversione (1mol=24 g DM) a partire dalla APARu (cioè frazione della APAR realmente utilizzata e calcolata a partire dalla APAR). Va precisato che valori mensili di eventuali limitazioni ambientali sulla produttività, come il deficit della pressione di vapore (VPD), il deficit dell'acqua del suolo e il deficit di gelo, danno una stima della APAR realmente utilizzata (APARu). La radiazione solare attiva assorbita dalla vegetazione è calcolata secondo la relazione:

$$APAR = PAR * FPAR$$

In cui FPAR rappresenta la frazione percentuale di radiazione fotosinteticamente attiva. Infine va precisato che il modello calcola la PAR (Photosynthetically Active Radiation) dai valori di radiazione solare mensili inseriti come input (1 MJ = 2.3 mol PAR). Le mappe FPAR generate come prodotti MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) possono essere utilizzate come dati di input per il modello. L'NPP viene ripartita in tre pool: foglie (WF), fusto (WS), radici (WR), attraverso degli appositi coefficienti di ripartizione (η_F , η_R and η_S) che dipendono dalle condizioni di crescita e dal diametro medio del popolamento forestale.

In entrambe le versioni del modello la α_c è ottenuta con la seguente equazione:

$$\alpha_c = f_T * f_F * \min \{f_{VPD}, f_{SW}\} * \alpha_{cx}$$

dove:

α_{cx} è la maximum canopy quantum efficiency e tutti gli f (funzioni) sono i cosiddetti "modificatori della crescita", ossia dei fattori ambientali che variando da 0 (totale limitazione) ad 1 (nessuna limitazione) influenzano la crescita della pianta.

Inoltre:

$$f_T(T_a) = \left(\frac{T_a - T_{min}}{T_{opt} - T_{min}} \right) \left(\frac{T_{max} - T_a}{T_{max} - T_{opt}} \right)^{(T_{max} - T_{opt}) / (T_{opt} - T_{min})}$$

Dove:

T_a = temperature media mensile

T_{min} = temperatura minima per la crescita della pianta

T_{opt} = optimum di temperatura

T_{max} = temperatura massima per la crescita della pianta

$$f_F(d_F) = 1 - k_F(d_F / 30)$$

Dove:

d_F = numero di giorni di gelo in un mese

k_F = numero di giorni di produzione persi per ogni giornata di gelo

$$f_{sw}(\theta) = \frac{1}{1 + [(1 - \theta / \theta_x) / c_\theta]^{n_\theta}}$$

Dove:

θ = contenuto attuale di acqua nel suolo

θ_x = contenuto massimo di acqua disponibile nel suolo

$c_\theta = 0.8 - 0.1 * \text{classe di tessitura del suolo}$

$n_\theta = 11 - 2 * \text{classe di tessitura del suolo}$

$$f_{VPD}(D) = e^{-k_D D}$$

Dove:

D = attuale deficit della pressione di vapore (ottenuto dai valori T_{min} e T_{max})

k_D = risposta della conduttanza della canopy ai valori del deficit di pressione di vapore (CoeffCond).

Nel modello si assume che la densità delle piante nel popolamento venga ridotta dai processi di competizione secondo la legge dell'auto-diradamento (Westoby, 1984). Il modello 3-PG fa una stima di un bilancio idrico semplificato con il quale aggiorna mensilmente i valori di contenuto di acqua nel suolo. Il contenuto idrico nel suolo è quindi dato dai valori di piovosità dai quali vengono sottratte le perdite dovute a:

- l'evapotraspirazione;
- l'intercettazione da parte delle foglie (il modello richiede per il calcolo il parametro $MaxIntcptn$ ossia la frazione massima di pioggia intercettata dalla canopy).

La quantità di acqua nel suolo che eccede la capacità di campo è persa come run off. Per il calcolo dell'evapotraspirazione il modello utilizza l'equazione di Penman-Monteith.

Il modulo restituisce come dati output valori mensili e annuali di:

- LAI ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$)
- NNP (t/ha)
- biomassa epigea (t/ha)

I risultati vengono forniti per ogni anno in cui il modello stesso viene fatto girare (il modello gira per un periodo di tempo predefinito).

5.4 Calibrazione e validazione del modello

Per la maggior parte dei modelli l'operazione di taratura è una procedura cruciale in cui la scelta dei parametri è il risultato del confronto tra valori simulati e realmente osservati. Una volta che i parametri di calcolo vengono fissati attraverso l'operazione di calibrazione, viene eseguita la convalida per i restanti valori osservati ed è in questa fase che viene valutata la bontà dei valori simulati in rapporto a quanto effettivamente misurato in campo attraverso preventive operazioni di campionamento.

Nell'ambito del progetto KEI-EXTENSION il modulo sviluppato è stato calibrato e validato per tre specie arboree: faggio, pino nero e castagno, rispettivamente all'interno dell'area Parco dei Monti Sibillini per quanto riguarda le prime due e nel Parco dei Castelli Romani per la terza. La metodologia seguita in questo caso è stata quella suggerita da P. Sands (2004) per la raccolta dati e l'assegnazione dei parametri in attività di taratura del modello 3-PG. Tale metodologia standard è comunemente utilizzata dalla comunità scientifica.

Come già spiegato il 3-PG è un modello di crescita generico, per il quale le singole specie vengono caratterizzate in base a una serie di parametri specifici; pertanto la possibilità di utilizzarlo come valido strumento gestionale è avallata dalla sola condizione che vengano assegnati parametri affidabili per le specie prese in esame. Questi parametri sono presenti in letteratura solo in pochi casi. D'altro canto il crescente interesse nei confronti di questo modello ha aumentato l'attenzione proprio sulle modalità di parametrizzazione e validazione del modello stesso. In effetti, risultati inaffidabili possono essere ottenuti facilmente proprio a causa di una generale mancanza di dati correttamente calibrati. Una volta che i valori dei parametri sono stati trovati attraverso la calibrazione, viene eseguita la convalida del modello proprio per assicurare che questo così calibrato abbia correttamente valutato tutte le variabili e le condizioni che possono influire sui risultati finali. L'operazione di validazione del modello è in realtà un prolungamento del processo di calibrazione. Infatti, durante le attività di

convalida, i risultati forniti sono stati confrontati con i dati osservati. La bontà dei dati simulati vengono generalmente valutati attraverso regressioni statistiche in rapporto a quelli realmente raccolti in campo

Caso di studio: i castagneti del Parco Naturale di Bracciano-Martignano

I risultati ottenuti dal progetto KEI-EXTENSION hanno fornito una serie di parametri fisiologici relativi alle specie indagate. Nell'ambito delle attività svolte in questo lavoro sono stati utilizzati tali parametri per una prima applicazione del modello nei castagneti del Parco di Bracciano (Fig. 5.1). Lo scopo è quello di verificare la bontà dei parametri scaturiti in un sito simile a quello studiato in questo contesto e valutare la possibilità in futuro di ottenere una stima completa della biomassa attraverso l'implementazione del modello in ogni sua fase e in tutta l'area forestale del Parco.

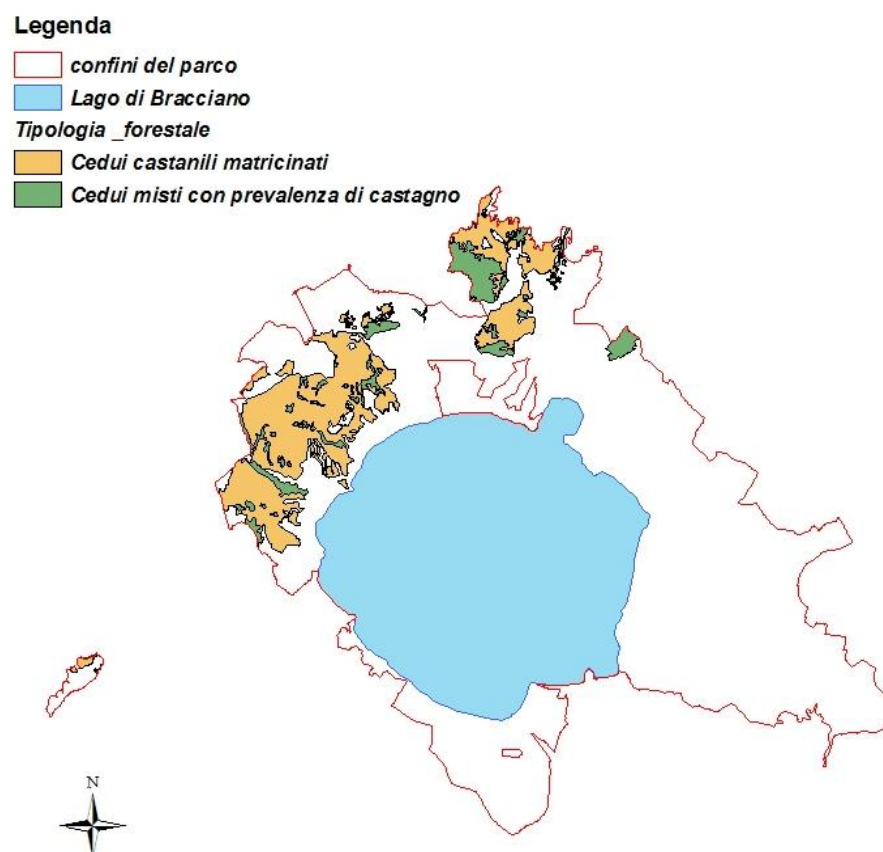
Nella tabella 5.7 vengono riportati i dati di input climatici selezionati e il tipo di elaborazione al quale sono stati sottoposti.

Tabella 5.7 : dati climatici e relativa elaborazione

<i>Parametro</i>	<i>Fonte dato</i>	<i>Tipo di elaborazione</i>
Temperatura max (valore medio mensile)	Ufficio idrografico e mareografico- Regione Lazio. Stazione di riferimento: Bracciano (288 m slm)	Valore medio mensile per la serie storica 1980-2000
Temperatura min (valore medio mensile)	Ufficio idrografico e mareografico- Regione Lazio. Stazione di riferimento: Bracciano (288 m slm)	Valore medio mensile per la serie storica 1980-2000
Precipitazioni	Ufficio idrografico e mareografico- Regione Lazio. Stazione di riferimento: Bracciano (288 m slm)	Valore medio mensile per la serie storica 1980-2000
Giorni di gelo	Ufficio idrografico e mareografico- Regione Lazio. Stazione di riferimento: Bracciano (288 m slm)	Equazione usata: giorni di gelo= $-1.9 \times \text{temperatura minima} + 15,2$
Radiazione solare giornaliera (valore medio)	Enea- Grande progetto solare termodinamico. Dati disponibili on line al sito www.solaritaly.enea.it . Dati elaborati per la stazione di Bracciano	Valore medio per la serie storica 1995-1999

Poiché il modello richiede come dati di ingresso valori mensili FPAR per ogni anno in cui viene fatto girare, sono stati utilizzati i prodotti MODIS, il FPAR MOD15 e MCD15. I parametri iniziali di biomassa forestale necessari per il modello sono stati ottenuti utilizzando i dati riportati nei piani di gestione forestale elaborati dai tecnici per le diverse aziende private. I dati sono stati forniti dall'Ente Parco in quanto organo preposto al rilascio dei nulla osta relativi a qualsiasi intervento di utilizzazione forestale. I dati forniti sono relativi all'anno 2005 e 2007 e forniscono i valori di volume medio all'ettaro.

Figura 5.1: estensione dei castagneti all'interno dell'area Parco



Fonte: proprie elaborazioni su fonte dati "Carta della vegetazione del Parco"

Nel progetto KEI-EXTENSION è stato ritenuto valido ottenere i valori di biomassa iniziale ripartita in biomassa epigea e ipogea attraverso l'ausilio dei fattori di espansione ampiamente usati in letteratura e ai quali si è fatto ricorso anche in altri inventari (Apat, 2006). Nella tabella 5.8 vengono riportate le procedure alle quali si è fatto ricorso per ottenere i valori di

biomassa iniziale richiesta dal modello e necessaria per ottenere i risultati finali di stock di carbonio ripartito nelle diverse componenti.

Tabella 5.8: procedure eseguite per ottenere i valori iniziali di biomassa ripartita nelle varie componenti

Tipologia di soprassuolo	Biomassa del fusto (W_s)	Biomassa epigea (AGB)	Biomassa ipogea (W_r)	Biomassa fogliare (W_f)
Castagno	= Wood volume (m^3/ha) *0.52	= $W_s * 1.36$	= $AGB * 0.28$	= $AGB - W_s$

(in questo lavoro sono state mantenute le stesse definizioni, abbreviazioni e modalità di stima utilizzate nell'ambito del progetto KEI)

Per la conversione da volume a massa è stato utilizzato il valore di densità basale riportato in letteratura (Romagnoli *et al*, 2008). Una ulteriore informazione richiesta dal modello come dato di input è l'età del soprassuolo all'anno in cui si riferiscono i dati di biomassa iniziale.

Per le attività di validazione del modello sono stati scelti tre aree di saggio rappresentative. Queste sono state selezionate sulla base delle informazioni certe reperite per i dati di biomassa iniziale (Tab 5.9)

Tabella 5.9: dati relativi alle aree di saggio

Area di saggio	Estensione (m^2)	Comune	Foglio catastale	particella catastale	Età	volume (m^3/ha)
1	314	Bassano	29	4	10	177
3	314	Bracciano	4	2/p	13	121
2	314	Bracciano	4	2/p	17	211,2

I campionamenti per la verifica dei dati ottenuti tramite modello sono stati raccolti nel 2009. Le misure hanno riguardato:

- d 1,30 di tutti i soggetti appartenenti alla singola area di saggio;
- altezze di un sufficiente numero rappresentativo di soggetti

Le informazioni ricavate in seguito ai campionamenti diretti sono state confrontate con quanto ottenuto dal modello. In tal modo è stato possibile fare delle valutazioni circa la bontà dei risultati ottenuti (Tab. 5.10)

Tabella 5.10: risultati ottenuti per ogni sito scelto

Area di saggio	anno di campionamento	Estensione (m²)	AGB field (t/ha)	AGB modeled (t/ha)
1	2009	314	161,2	163,2
2	2009	314	131,9	130,3
3	2009	314	167,6	168,7

Al fine di valutare l'accuratezza del modello, i valori di biomassa epigea previsti (P) devono essere confrontati con i valori osservati (O). L'indice più comune utilizzato è il coefficiente di determinazione R^2 che rappresenta il quadrato del coefficiente di correlazione R (nota anche come coefficiente di Pearson). Il suo valore varia da 0 (assenza di correlazione) e 1 (correlazione perfetta). Per i dati qui esposti si ottiene un R^2 pari a 0,99.

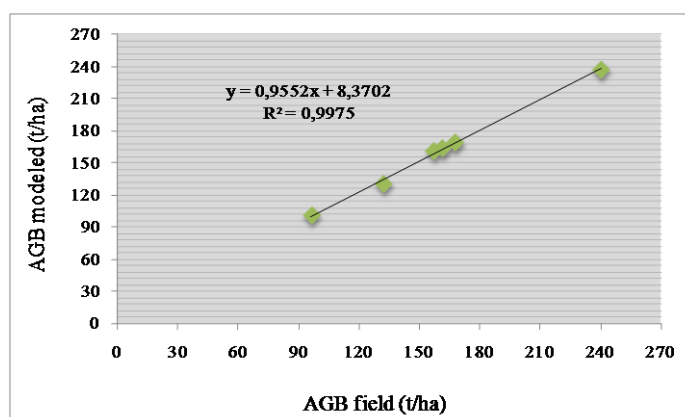
Ulteriori confronti sono stati effettuati per altre particelle con dati di biomassa ottenuti dal modello e dati stimati tramite l'incremento medio annuo relativo alla singola particella considerata. I risultati sono esposti in tabella 5.11.

Tabella 5.11: risultati ottenuti per ogni sito scelto

Area di saggio	Comune	Età nel 2005	AGB field (t/ha al 2009)	AGB modeled (t/ha al 2009)
1	Bassano	7	96	101
2	Sutri	16	240	237
3	Bracciano	15	157	161

Anche in questo caso è stata valutata, tramite R^2 , la correlazione tra i dati stimati tramite modello e quelli ottenuti dall'applicazione dell'incremento medio annuo. Infine i risultati dei sei siti totali analizzati sono stati utilizzati complessivamente per ottenere considerazioni sull'accuratezza del modello (Fig. 5.2)

Figura 5.2: AGB field e AGB modeled per i sei siti scelti



Conoscere i quantitativi di biomassa complessivamente prodotti in un dato soprassuolo ci permette di effettuare considerazioni di più ampia veduta relativamente al carbonio effettivamente stoccato in una data area. Infatti implementazioni future del modello consentirebbero di ottenere valori di stock di carbonio nei castagneti estensi su tutta l'area Parco a fronte delle periodiche utilizzazioni.

Infine il modello tra i risultati fornisce anche valori annui di LAI. In particolare il valore medio di LAI ottenuto per il 2009 è 3. Questo valore risulta in linea con quanto riscontrato anche nella calibrazione dei castagneti dei Castelli Romani per i quali è stato ottenuto un valore medio di LAI pari a 3,8. Valori riscontrati in letteratura (Covone F., 2006) suggeriscono per cedui castanili valori minimi di LAI pari a 0.2 nei soprassuoli di un solo anno di età e valori massimi di 5 (± 2) per soprassuoli maturi (con una diminuzione del 26% per cedui invecchiati).

Sulla base dei primi risultati ottenuti è auspicabile effettuare altri test proprio per valutare meglio l'efficacia del modello sviluppato nell'ambito del progetto KEI-EXTENSION e per ottenere in futuro dati relativi all'accumulo di carbonio nei diversi comparti forestali anche in relazione all'effettivo grado di utilizzazione dei boschi del Parco.

6 Risultati complessivi e conclusioni

6.1 Sintesi dei risultati

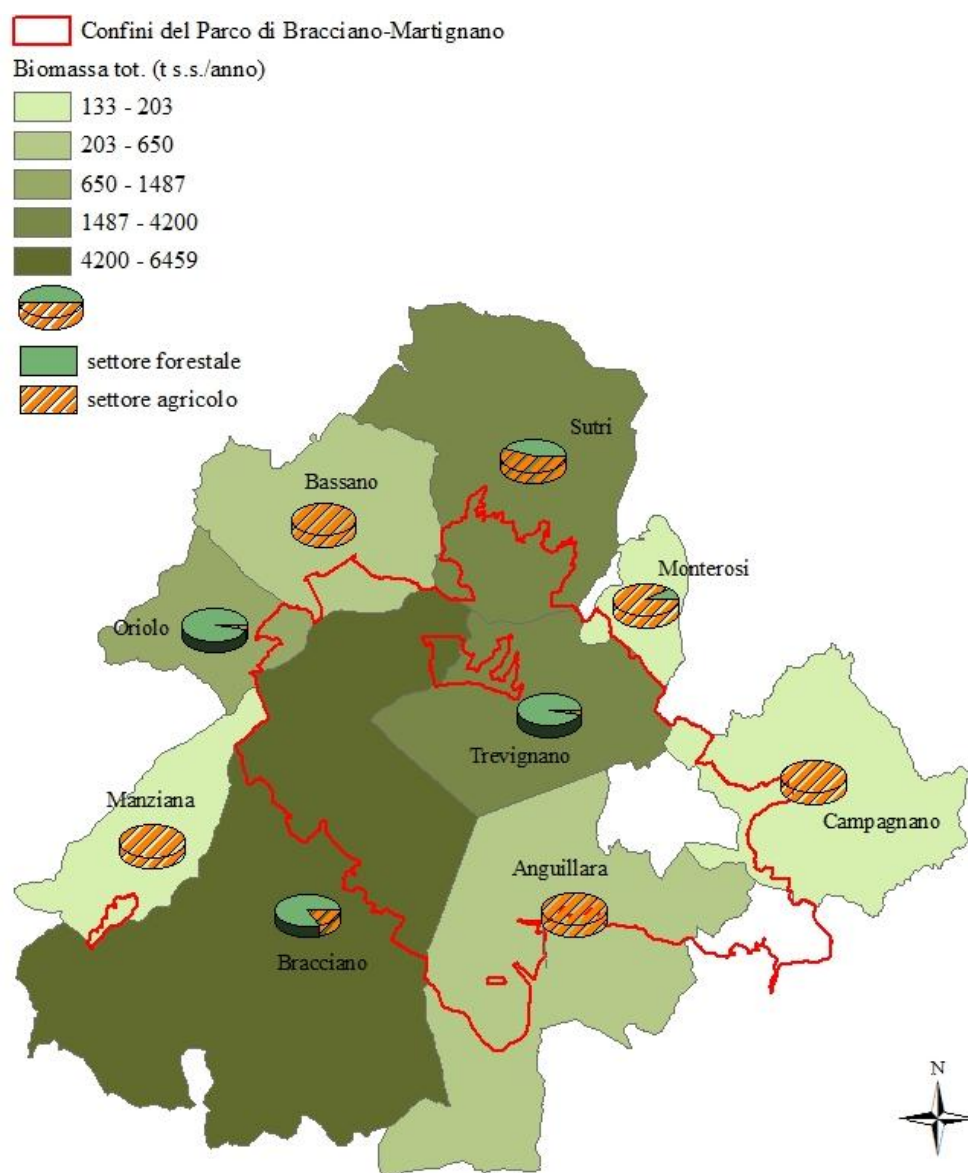
Da quanto esposto nei capitoli precedenti si evince come nel territorio del Parco di Bracciano-Martignano vi siano quantitativi significativi di biomassa sfruttabili per uso energetico. Sulla base delle considerazioni fatte per il comparto agricolo e per quello forestale, viene di seguito proposta una stima delle biomasse complessivamente disponibile sull'intero territorio del Parco (Tab. 6.1). Si ricorda che l'anno a cui la stima si riferisce è il 2005 e che per il comparto agricolo l'unità di riferimento è l'intero confine amministrativo, mentre i valori del comparto forestale si riferiscono alle sole utilizzazioni forestali effettuate all'interno dell'area protetta.

Tabella 6.1: stima della biomassa complessivamente disponibile nei comuni dell'area Parco

<i>Biomassa tot. (t s.s.)</i>	
Anguillara	650
Bracciano	6459
Campagnano	203
Manziana	133
Trevignano	2537
Bassano	564
Monterosi	133
Oriolo	1487
Sutri	4200
<i>Totale</i>	<i>16366</i>

Come mostrato in tabella, il comune in cui si ottiene un maggior quantitativo di biomassa disponibile è Bracciano, seguito da Sutri e Trevignano. La biomassa risulta dunque concentrata principalmente nei comuni situati a nord dei confini del Parco, nella fascia a cavallo tra le due province di Roma e Viterbo. Ovviamente, appare chiara l'importanza dell'individuazione di aree omogenee dal punto di vista della disponibilità di biomassa ma anche omogenee per tipologia di biomassa. Infatti sapere dove, come e quale sottoprodotto è reperibile da un'area, nonché l'estensione di questa, permette di adoperare giuste misure gestionali fondamentali per un corretto uso delle risorse disponibili (Fig. 6.1).

Figura 6.1: distribuzione della biomassa all'interno del Parco



Il comune che offre la maggior disponibilità di biomassa dal comparto agricolo risulta Sutri con 2340 tonnellate di sostanza secca di biomassa proveniente soprattutto dalla potatura delle colture arboree (nocciolo). Segue il comune di Bracciano con più di 1100 tonnellate di sostanza secca, anche se in questo caso il maggior contributo viene offerto dalle colture erbacee (paglie). Per quanto riguarda il comparto forestale, ancora una volta Bracciano risulta il comune che offre il maggior quantitativo di biomassa sfruttabile. Seguono quindi Trevignano, Sutri e Oriolo, mentre praticamente nullo il contributo per questo settore, degli altri comuni. In questo caso va ricordato che la maggior estensione della superficie vegetazionale si trova proprio nel comune di Bracciano ancora una volta seguito da Sutri. Ancor più interessante per i fini della stima della biomassa sfruttabile energeticamente, interessa conoscere la distribuzione dei boschi cedui, che appunto risultano concentrati nei comuni già menzionati (Tab. 6.2).

Tabella 6.2: estensione superficie vegetazionale all'interno dell'area Parco (dettaglio comunale)

Comune	Superficie (ha)			Tot.
	Ceduo	Fustaia	Pascoli, incolti, veg. ripariale	
Anguillara	257,6	66,4	193,3	517,3
Bassano	191,8	152,9	46,1	390,8
Bracciano	1833,1	5,9	126,7	1965,7
Campagnano	66,2	0,6	37,1	103,9
Manziana	46,8	0	35,4	82,2
Monterosi	67,2	0	0	67,2
Oriolo	82,4	136,7	4,9	224
Roma	337,9	0,9	148	486,8
Sutri	701,8	4,9	26,3	733

E' chiaro che il fattore che determina la stima della biomassa di origine forestale, a parità di calcolo, è proprio la superficie sottoposta al taglio. Poiché la maggior parte della superficie vegetazionale del Parco è ricoperta da boschi governati a ceduo, ne consegue che tale forma di governo gioca un ruolo preponderante per il risultato finale della stima. La variazione annuale della superficie tagliata può portare a fluttuazioni della biomassa forestale disponibile anche consistenti. Infatti dall'analisi dei tagli eseguiti nel lasso di tempo di 5 anni, sono state riscontrate fluttuazioni fino al 90% di superficie tagliata in un anno rispetto all'altro (in particolare dal 2003 al 2004). Mediamente all'interno del Parco viene utilizzato meno del 3%

delle superfici forestali totali governate a ceduo. Tale percentuale risulta più alta nel comune di Oriolo (5,8%); si ricorda che tali dati sono stati ricavati sulla base delle informazioni provenienti dai nulla osta rilasciati dall'Ente a fronte della richiesta di utilizzazione, dati dal 2003 al 2007 (Tab. 6.3). Per contro nei comuni di Bassano e Campagnano non sono stati registrati tagli per gli anni considerati; ciò denota lo scarso sfruttamento dei boschi in queste aree. Per contro nel comune di Bassano risultano utilizzati i boschi governati a fustaia. Infatti in questo comune si concentra la maggior parte della superficie di fustaia presente totalmente nel Parco, seguito da Oriolo. Queste fustaie ricadono all'interno del SIC (Faggeta di Oriolo e Monte Raschio). Inoltre va ricordato che all'interno dei comuni di Bracciano e Sutri si trovano le tre principali aziende agroforestali del Parco. Due tra queste, entrambi presenti nel comune di Bracciano, hanno presentato un proprio piano di assestamento e gestione forestale in vigore per i prossimi anni. Pertanto, per la maggior parte dei boschi presenti sulla superficie di questo comune si conoscono con precisione i valori di biomassa ritraibili nel prossimo futuro. Per tale ragione Bracciano è il comune scelto per effettuare un'ipotesi di dimensionamento di un piccolo impianto di riscaldamento domestico (cfr. paragrafo 6.2).

Tabella 6.3: superficie al taglio (valore medio annuale; serie storica 2003-2007)

	Anguillara		Bassano Romano		Bracciano		Campagnano		Manziana		Monterosi		Oriolo		Roma		Sutri		Trevignano	
	Ceduo	Fustaia	Ceduo	Fustaia	Ceduo	Fustaia	Ceduo	Fustaia	Ceduo	Fustaia	Ceduo	Fustaia	Ceduo	Fustaia	Ceduo	Fustaia	Ceduo	Fustaia	Ceduo	Fustaia
sup_ forestale (ha)	257,7	66,5	191,9	153,0	1833,1	5,9	66,2	0,6	46,9	0,0	67,2	0,0	82,4	136,8	338,0	1,0	701,9	5,0	458,0	9,3
sup_ al taglio*	6,5	0,0	0,0	6,3	57,6	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	2,6	0,0	4,8	2,8	3,3	0,0	24,5	0,0	14,4	0,0

**valore annuale medio (ha)*

La stima relativa alla biomassa disponibile dal comparto forestale deriva dai dati disponibili circa le reali utilizzazioni effettuate per l'anno considerato. Sulla base dei valori di volume complessivamente asportato nell'anno considerato dai boschi cedui, è stata applicata la percentuale di umidità (40%) per ottenere le tonnellate di biomassa secca presente sul territorio. In ultima analisi è possibile ricavare la quota relativa ai soli scarti delle utilizzazioni, valutabili come percentuale sul valore di biomassa totale (15%) (Tab. 6.4).

Tabella 6.4: biomassa disponibile dal comparto forestale

	Biomassa disponibile comparto forestale		
	t s.f.	t s.s.	scarti t s.s.
Anguillara	0	0	0
Bracciano	8900	5340	801
Campagnano	0	0	0
Manziana	0	0	0
Trevignano	4080	2448	367
Bassano	0	0	0
Monterosi	20	12	1,8
Oriolo	2400	1440	216
Sutri	3100	1860	279
Totale	18500	11100	1664,8

Quindi nella ipotesi che solo le biomasse legnose originate dalle ramaglie e dai cimali siano utilizzabili e senza prevedere alcun aumento delle superfici sottoposte ad utilizzazione nel territorio del Parco vi è un potenziale di oltre 1600 tonnellate di residui che attualmente risultano inutilizzati e che previa cippatura sono disponibili per produrre energia

6.2 Ipotesi di dimensionamento di un impianto locale

Al fine di fornire informazioni utili circa l'effettiva fattibilità di un impianto per lo sfruttamento locale della risorsa biomassa, si presentano i dati relativi a un ipotesi di dimensionamento di un impianto di taglia media a servizio di una comunità. Questo approfondimento nasce dalla collaborazione con ITABIA grazie alla quale è stato possibile utilizzare un Software per il dimensionamento di impianto per la produzione di calore, con relativo investimento iniziale, fabbisogno di biomassa e tempo di ritorno dell'investimento. Si tratta di un prodotto informatico sviluppato da Itabia per Unacoma nel 2008 (www.unacoma.it), che gli associati possono usare gratuitamente collegandosi al sito e inserendo il proprio codice riservato. Il programma è uno strumento utile per orientare le imprese agricole nell'attivazione di filiere agroenergetiche calibrate sulle caratteristiche aziendali e territoriali del contesto in cui operano. E' un prodotto estremamente semplice da

utilizzare, anche se richiede una competenza sufficiente circa gli argomenti e la terminologia utilizzata. Le ipotesi di progetto che si possono elaborare partono dall'inquadramento qualitativo della biomassa disponibile per poi arrivare a definire i possibili sbocchi energetici ottenibili attraverso le varie opzioni tecnologiche da installare (energia termica, elettrica, cogenerazione e trigenerazione). Il programma è strutturato per valutare tre filiere energetiche a partire dalle biomasse: quella dell'energia termica, dell'energia elettrica e della cogenerazione-trigenerazione. Per il calcolo della convenienza economica dell'impianto vengono presi in considerazione alcuni parametri, tra cui:

il costo dei combustibili fossili, il costo e le tariffe dell'energia elettrica, il costo del denaro (tassi di interesse), l'eventuale esistenza di incentivi nazionali e locali (certificati verdi, titoli di efficienza energetica, defiscalizzazioni, piani di sviluppo rurale). Per la valutazione economica della filiera prescelta, in base alle proprie esigenze energetiche e alla disponibilità aziendale di biomassa, si utilizza l'indice del tempo di ritorno dell'investimento (payback), ovvero il numero di anni di funzionamento dell'impianto necessari a far sì che i ricavi netti generati dall'investimento coprano il capitale investito. Scegliendo una filiera energetica piuttosto che l'altra, occorre tener presente che, nel caso ad esempio di quella termica, per una medesima utenza (volume, tipologia costruttiva dell'edificio da riscaldare) il tempo di ritorno dell'investimento è fortemente dipendente dalla zona climatica in cui ci si trova, indicate nel dlgs 311 del 29-12-2006 (Disposizioni correttive e integrative al decreto legislativo 19-8-2005, n. 192, recante «Attuazione della direttiva 2002/91/Ce relativa al rendimento energetico nell'edilizia»). Nel caso di una filiera elettrica, caratterizzata da elevati consumi di biomassa, il tempo di ritorno dell'investimento dipende essenzialmente dal costo di produzione del biocombustibile. Sempre nel caso di quest'ultima filiera, e a maggior ragione per quelle cogenerative-trigenerative, occorrerà pianificare adeguatamente le infrastrutture distrettuali e/o aziendali per la raccolta, il trasporto e lo stoccaggio della biomassa. Il tempo di ritorno per le filiere cogenerative-trigenerative è fortemente influenzato dalla quantità di energia termica utile (calore- freddo) recuperata (limite termico = LT), oltre che dal costo del biocombustibile. Il limite termico è dato dal rapporto dell'energia termica utile prodotta rispetto alla somma di produzione utile elettrica e termica.

Nel caso della produzione di calore, il rendimento energetico effettivo (medio annuo) dipende da numerosi fattori, legati al corretto dimensionamento della caldaia e alle condizioni sotto le quali viene fatta funzionare. Il rendimento energetico effettivo si discosta da quello nominale se la caldaia funziona per lunghi periodi a una potenza sensibilmente inferiore a quella

nominale o se viene alimentata da combustibile disomogeneo e/o con un'umidità relativa superiore al 60%. (Nati & Scarpini, 2009)

Per effettuare il dimensionamento di un impianto, è stato preso in considerazione il Comune di Bracciano, per il quale si dispone di dati certi circa le utilizzazioni forestali future in quanto è l'unico dei dieci comuni del Parco ad essere interessato da piani di assestamento forestale che ricoprono gran parte della superficie forestale comunale ricadente all'interno dell'area protetta.

Le informazioni di partenza richieste dal software sono schematizzate nella figura sottostante (Fig. 6.2)

Figura 6.2: schermata iniziale del software

DISPONIBILITA' DI BIOMASSA LEGNOSA				
Tipi Biomassa	Ettari	t/anno	Costo (€/t) ?	Umidità% ?
Residui forestali e agricoli tal quali		0	60	20
Cippato ?		10000	70	20
Pellets ?		0	280	20
Colture legnose dedicate (pioppo)	0	0	100	40
Colture legnose dedicate (robinia)	0	0	100	35
Colture legnose dedicate (mischantus)	0	0	60	15
DISPONIBILITA' ANNUA TOTALE (t)		10000		

[Calcola](#)

Legenda: Valori da inserire Valori di default Valori modificati rispetto a quelli di default

Partendo dal volume ritraibile annualmente dalle utilizzazioni forestali secondo quanto previsto dai piani, è stato calcolato il volume, e quindi la massa dei soli scarti (cimali). Pertanto, nell'ipotesi di stima conservativa, si ipotizza una disponibilità di biomassa pari a 450 t/anno di biomassa proveniente dalla cippatura dei residui forestali. Il valore di umidità previsto per il cippato forestale è del 35%. Si precisa ancora una volta che in questo dimensionamento è stato deciso di effettuare una stima conservativa e quindi ci si riferisce al valore minimo calcolato sulla base delle informazioni provenienti dai piani di gestione forestale delle principali aziende agro-forestali del comune considerato. A questo quantitativo si è aggiunta poi la biomassa proveniente dai residui agricoli (paglie e potature). Il totale di biomassa complessivamente disponibile ammonta a 1250 t/anno. Il software ci chiede anche

di ipotizzare un costo per le varie voci di biomassa: si fissa pertanto un costo di 76 euro a tonnellata di biomassa prodotta. Infine ci viene chiesto di inserire nel programma la zona climatica di appartenenza del comune indagato (Fig. 6.3)

Figura 6.3: dati di partenza richiesti dal software Unacoma-Itabia

BIOMASSA LEGNOSA	
Biomassa legnosa disponibile: 1.250 t/anno	Zona climatica: D
Costo biomassa legnosa: 76 €/t	En. termica - Volume utenze: 1.000 mc
Colture legnose dedicate: 0 ha	En. frigorifera - Volume utenze: 500 mc
Ore funzionamento impianto en. el., cog., trig.: 7.500	Ore annue di condizionamento: 2.000 ore

A questo punto, ipotizzando di dover riscaldare un ambiente di 1000 m³, che verosilmente potrebbe rappresentare la sede dell'Ente Parco, che si trova proprio nel comune indagato, il software ci conferma che con i dati inseriti abbiamo la possibilità di puntare su una soluzione di riscaldamento-raffrescamento o di solo riscaldamento per l'ambiente selezionato. La soluzione del solo riscaldamento sembra quella più idonea alle simulazioni ipotizzate. A questo punto viene ipotizzato un investimento iniziale di 15.000 euro a fronte di un ritorno economico di circa 5 anni. La biomassa necessaria è di 17 t/anno (Fig. 6.4).

Figura 6.4: ipotesi di riscaldamento con relativo dimensionamento e impegno economico

Riscaldamento			
Costo di investimento:	€ 15.000	Consumo biomassa:	t/y 17
Ricavo netto:	€/y 3.155	Pay-back:	Anni 4,8
Tipo energia	Produzione (kWh/anno)	Potenza netta installata (kW)	
Energia termica	54.000	30	

I risultati ottenuti, pur se indicativi, definiscono l'ordine di grandezza della quantità di cippato necessaria a soddisfare una utenza pubblica di medie dimensioni aperta al pubblico 5 giorni su 7. Tenuto conto che la nostra stima indica che nel solo territorio di Bracciano vi è già oggi e solo dal settore forestale una disponibilità aggiuntiva di circa 450 tonnellate di biomassa legnosa possiamo proporzionalmente immaginare che si possano soddisfare le esigenze termiche di molteplici utenze locali.

Nel solo comune di Bracciano vi sono utenze significative quali l'ospedale, la locale caserma, un liceo scientifico, un istituto tecnico commerciale, un istituto turistico, il municipio, la

piscina comunale, alcune delle quali per tipologia di utenza e finalità hanno elevate esigenze di riscaldamento invernale e/o di raffrescamento estivo e le cui caldaie sono generalmente alimentate a gasolio o metano. Nello stesso tempo vi sono aree di nuova espansione urbana dove sarebbe possibile realizzare sistemi di teleriscaldamento di cui nelle regioni del nord e centro Italia vi sono molteplici esperienze di successo (Bassano *et al.*, 2004; Bottio *et al.*, 2009)

Se inoltre consideriamo che la tecnologia commerciale delle caldaie, al di sopra di una certa taglia dimensionale, consente di utilizzare mix di biomassa eterogenei che includano residui di potatura e anche residui pagliosi le potenzialità di sostituzione degli attuali consumi di combustibili fossili con biomasse locali aumentano ed è una prospettiva realistica la quale potrebbe attivare un circuito economico locale significativo.

E' il Parco stesso che potrebbe farsi promotore di azioni tese a far sì che le risorse locali siano, in un sistema organizzato, utilizzate dalle utenze locali per produrre energia anche attraverso la promozione di iniziative tese a certificare l'ente parco il suo territorio e le sue qualità ambientali. In questo senso le migliaia di tonnellate di prodotti lignocellulosici residui disponibili sono una opportunità di natura ambientale economica e sociale che attraverso azioni mirate possono essere mobilitate a servizio delle comunità locali.

6.3 Considerazioni conclusive

Il presente lavoro ha permesso di valutare la disponibilità di biomasse utilizzabili per fini energetici nel territorio del Parco di Bracciano-Martignano, ottenendo dei dati disaggregati a livello comunale. Lo studio permette di analizzare la distribuzione delle risorse sul territorio, e di identificare dei bacini di approvvigionamento all'interno della provincia, ovvero zone territoriali dove si ha una maggiore densità di biomasse. È importante sottolineare che stimare la quantità di biomassa senza tenere conto delle eventuali fluttuazioni a cui sono soggette negli anni costituisce un limite alla qualità della stima, e ciò non consente di valutare con il giusto metro la potenziale disponibilità di questa risorsa.

In conclusione si può affermare che la valutazione della biomassa disponibile per fini energetici, in un dato territorio, rappresenta uno strumento conoscitivo necessario per la pianificazione energetica fondata sull'utilizzo, razionale e sostenibile, di tale tipologia di fonte

rinnovabile. La stima è utile per valutare quali tipologie e dimensioni di impianti sono effettivamente realizzabili in un territorio e può contribuire a identificare le aree più idonee dove realizzare gli impianti stessi. L'approccio adoperato è quello di tipo "statistico" che per semplicità ed economicità è quello più utilizzato e che potrebbe in futuro essere integrato con gli strumenti GIS, consentendo di ottenere una buona fotografia del potenziale energetico e costituire un potente supporto alle politiche decisionali locali. Come già accennato, lo studio che è stato proposto, viene realizzato in riferimento ad un anno per il quale sono disponibili i dati statistici necessari, è quindi una fotografia del passato ma comunque utile a mettere in evidenza alcune delle caratteristiche tipologiche e quantitative delle biomasse. In sintesi la stima statistica delle biomasse è spesso il risultato di un compromesso tra la disponibilità (anni, limiti amministrativi) dei dati e gli obiettivi iniziali della stima (settori produttivi, tipologie di biomasse) ma resta comunque uno strumento basilare per conoscere pregi e limiti dell'opzione biomasse per un dato territorio. E' bene precisare che questo studio non vuole essere un incentivo allo sfruttamento più intenso e indiscriminato dei boschi cedui, quanto un passo avanti verso una migliore comprensione dell'utilità di questi per fini energetici. Infatti si è più volte sottolineato nel lavoro che l'obiettivo è quello della produzione associata di biomassa e di altri assortimenti convenzionali, al fine di sfruttare al meglio il prodotto legnoso. Ramaglia e cimali rappresentano un quantitativo di biomassa la cui rimozione comporta benefici non solo da un punto di vista estetico-ricreativo, ma anche come efficace misura antincendio. Va peraltro precisato che non è possibile pensare di asportare dal bosco la biomassa nella sua totalità, causa eccessivo depauperamento del suolo (La Fauci A. & Mercurio R., 2008).

Parallelamente alla stima delle biomasse locali per uso energetico, in questo lavoro si è introdotto il discorso della quantificazione dello stock di carbonio. Un primo passo verso la quantificazione del carbonio immagazzinato nei castagneti del Parco è stata possibile grazie all'utilizzo di un modulo messo a disposizione in seguito al progetto KEO-EXTENSION e basato sul modello previsionale 3-PG. Le prime fasi di stima, introdotte in questo lavoro, forniscono importanti informazioni sulla base delle quali sarà possibile proseguire la ricerca e ottenere valori di stock riferiti non solo a singole aree puntuali ma all'intero territorio indagato, a fronte di un maggior e dettagliato numero di informazioni richieste. Inoltre sarà possibile stimare l'evoluzione nel tempo degli stock di carbonio. Ancora una volta è bene precisare che la capacità delle foreste di sequestrare carbonio deve essere calcolata tenendo in considerazione la reale gestione selvicolturale alla quale queste sono sottoposte. Pertanto, il

supporto offerto da modelli previsionali di crescita può fornire un valido elemento per garantire una gestione sostenibile delle foreste, che abbinata ad un uso razionale della risorsa biomassa per uso energetico, rappresenta un importante contributo degli ecosistemi forestali alla riduzione della concentrazione atmosferica di gas serra, (Schlamadinger & Marland 1996).

6.4 Sviluppi futuri della ricerca

Il lavoro svolto ha permesso di identificare e quantificare le biomasse potenzialmente disponibili nel territorio e di selezionare la tipologia di uso termico come la più indicata per il territorio del parco contesto che mal può conciliarsi con i grandi impianti di tipo elettrico i quali hanno dimensioni e impatti rilevanti.

Legittima è la preoccupazione che lo sviluppo delle filiere agro energetiche locali non impatti con i principi di conservazione che sono alla base della istituzione di un parco. Per assicurare che lo sviluppo della opzione energetica sia compatibile con il parco in quelle aree dove le priorità di conservazione e gestione lo permettono sarebbe necessario approfondire sia elementi di tipo scientifico che tecnico. Tra i primi possiamo immaginare di sviluppare attività di ricerca tese a:

- Valutare complessivamente la biomassa forestale presente ed il relativo carbon stock su base geografica e implementare un sistema autorizzativo al taglio che tenga conto della necessità di mantenere invariato il carbon stock e/o di aumentarlo.
- Sviluppare un sistema di informazione geografica (SIT) che ponga puntualmente le biomasse residuali sul territorio e le metta in relazione con gli altri elementi informativi utili a definire le aree idonee sulla base di parametri funzionali (strade per esbosco o raccolta potature), acclività, densità di coltivazione anche al fine di definire i costi e le opportunità per la logistica delle biomasse.
- Valutare la migliore organizzazione della filiera di esbosco e le macchine forestali per una ottimale gestione della fase esbosco, concentrazione, cippatura, stoccaggio, impiego.
- Valutare il contenuto di sostanza organica dei suoli agricoli e il bilancio fissazione /asportazione al fine di non depauperare i suoli agricoli di ulteriore carbonio organico.
- Quantificare i benefici attesi in termini di bilancio anche attraverso strumenti analitici quali la LCA per assicurare un limitato impatto ambientale delle diverse ipotesi di filiera e tecnologie di trasformazione.

Ognuno di questi temi di per se rilevante dovrebbe essere sviluppato in stretto collegamento con i soggetti locali in primis l'Ente Parco al fine di assicurare una finalità pratico applicativa alle ricerche intraprese.

7 Bibliografia

- AA. VV., 1998. Le potature in ambiente urbano. Manuale per tecnici del Verde Urbano. Torino
- AA.VV., 2001a. Approvvigionamento di biomasse ad uso energetico, bilanci economici ed ambientali in ambito urbano: l'esperienza di Environment Park. Environment Park, Torino
- AA.VV., 2001b. Piano Energetico della Regione Lazio. Regione Lazio, Roma
- AA.VV., 2001c. Studio per la valorizzazione energetici dei residui colturali arborei in Calabria e Sicilia. SOAT 21. Catania.
- AA.VV., 2002a. Valorizzazione energetica delle biomasse agricole laziali. Isma, Roma
- AA.VV., 2002. Piano Energetico Ambientale Provinciale. Provincia di Viterbo.
- AA.VV., 2008a. Studio di fattibilità di filiere agroenergetiche nel comprensorio della Valle del Sacco al fine di definire un distretto agro energetico. Convenzione ENEA ARSIAL.
- AA.VV., 2008b. Progetto ENERWOOD –Il potenziale energetico da biomasse nella regione Molise. Regione Molise, Isernia. Giugno 2008
- AA.VV., 2009. Legna e cippato. Manuale pratico.
- AA.VV., 2010. Rapporto Rifiuti Urbani. ISPRA, Edizione 2009 - n° 108, Roma
- Acquatail s.r.l., 1997. Studi preliminari per il piano di bacino. ST8 Modello di gestione del lago di Bracciano. Relazione inedita
- AIEL, 2004. La produzione di combustibili legnosi dalla selvicoltura urbana.
- AIGR-ENEA, 1994. Potenzialità energetica da biomasse nelle regioni italiane, rapporto a cura di Pellizzi G., Riva G., Fiala M., non pubblicato, Milano.
- Alfano V., Colonna N., Croce S., Pignatelli V., 2009. Il potenziale agroenergetico da residui nel Lazio. VII Convegno AISSA, 2-4 dicembre, Ancona.
- Almeida A.C., Landsberg J.J., Sands, P.J., 2004. Parameterisation of 3-PG model for fast growing *Eucalyptus grandis* plantations. Forest Ecology and Management 193: 179-195
- ANPA e ONR, 2002. I rifiuti del comparto agroalimentare. Studio di settore. Unità normativa tecnica. APAT, 11/2001, Roma.
- APAT, 2002. Rapporto rifiuti 2001. APAT, Roma;
- APAT, 2003. Le biomasse legnose - Un'indagine sulle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia. Rapporto 30/2003, Roma.
- APAT, 2006. Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2004, National Inventory Report.
- Aper, 2010. Report Bioenergie. Milano

- Arcuri E., 2004. Il sistema agricolo Roma. Dinamica e specializzazione della provincia a livello comunale. Un'analisi dei dati censuari sulle caratteristiche strutturali delle aziende agricole. Agra Editrice, Roma.
- Arsia, 2004. Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm-Regione Toscana.
- Arsia, 2009. La filiera legna-energia, risultati del progetto interregionale Woodland Energy-Regione Toscana.
- Avella R., Bassano C., 2005. Il GIS nella pianificazione della risorsa biomassa. EAI-ENEA, n°5: 55-63.
- Avella R., Calabrò A., Gerardi V., Pignatelli V., Scoditti E., Viggiano D. 1998. La gassificazione delle biomasse, Conferenza Nazionale Energia e Ambiente, Roma, 6 novembre.
- Bagarani M., Magni C., Mellano M., 1986. Specializzazione produttiva e differenziazioni regionali nell'agricoltura italiana: un metodo di valutazione. Rivista di Economia Agraria, 4.
- Barker, T., I. Bashmakov, A. Alharthi, M. Amann, L. Cifuentes, J. Drexhage, M. Duan, O. Edenhofer, B. Flannery, M. Grubb, M. Hoogwijk, F. I. Ibitoye, C. J. Jepma, W.A. Pizer, K. Yamaji, 2007: Mitigation from a cross-sectoral perspective. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Bassano C., Colonna C., Gerardi V., 2004. Analisi economica ed ambientale per un impianto di teleriscaldamento a biomassa nel comune di Varese Ligure. Rapporto Tecnico ENEA RT/2004/11/BIOTEC
- Bernetti I., Fagarazzi C., Sacchelli S., Ciami C., 2009. I comparti forestale e di prima trasformazione del legno. In "Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana" Arsia, 2009
- Blasi C., 1994. Fitoclimatologia del Lazio. Fitosociologia 27: 151-175.
- Borghetti M., 2005. Intorno a "Kyoto" e ai nostri boschi. Forest@ 2 (1): 5-6
- Botta G. e Brignoli V., 1999. Dati di disponibilità di biomasse per uso energetico nel territorio della Regione Molise. Pal99/21, Enel Ricerca.
- Bottio I., Caminiti N.M., Gangale F., Stefanoni M., Magnelli T., 2009. Teleriscaldamento e sistemi energetici integrati. Pp 200, ISBN 88-8286-168-6, ENEA, Roma.

- Brokeland R., Bruggemann C., 1996. Neuer hackervorsatz im praktischen einsatz. Forstmaschinen- Profi, 11: 24-25
- Brunetti N., Denticò G., 1983. Potature di vite e olivo compattate per uso energetico: esperienza dimostrativa di raccolta, essiccamento e compattazione. 38° Convegno Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana, Bari.
- Calamini G., Gregori E., Hermanin L., Lopresti R., Manolacu M., 1983. Studio di una Faggeta dell'Appennino Pistoiese: biomassa e produzione primaria netta epigea. Annali dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze, Vol. XIV: 193-214.
- Camponeschi B., Lombardi L., 1969. Idrogeologia dell'area vulcanica Sabatina. Men. Soc. geol. It., 8 (1): 25-55
- Castellazzi L, Gerardi V, Scoditti E, Rakos C, Evald A, Bjerg J, Lagergren F., 2002. Riscaldamento dei Grandi Edifici con Combustibili Legnosi. Informazioni Tecniche di Base. ENEA, Roma, 35 p.
- Cesen, 2003: Potenziale delle fonti rinnovabili in Liguria. Appendice 7, Piano Energetico Ambientale, Regione Liguria.
- Cestaat, 1996. Le aree agricole dei territori protetti. Pitagora Editrice
- Ciancio O., 1983. Considerazioni sul problema del ceduo: obiettivi e ipotesi di sviluppo. L' Italia agricola. 120 (4): 87-102
- Ciccarese L, Spezzati E, Pettenella D., 2003. Le Biomasse Legnose. Una indagine sulle Potenzialità del Settore Forestale Italiano nell'Offerta di Fonti di Energia. APAT, Roma, pp. 99.
- Cipe – Comitato Italiano per la Programmazione Economica, 1999. Libro Bianco per la valorizzazione energetica delle fonti rinnovabili (Deliberazione CIPE n. 126 del 6 agosto 1999), G.U. n. 253 del 27 ottobre 1999.
- Colonna N., Croce S., 2009. Biomass potential assessments in Italy: approaches and methodologies. Atti II Convegno Società Italiana Bioenergia e Agroindustria, Maggio 2009, Roma.
- Colonna N., Del Ciello R., Mustillo I., Occhionero A., Petti R., 2008. Stima del potenziale energetico da biomasse nel territorio molisano. Abstract VI Convegno A.I.S.S.A., Imola.
- Commissione Europea, 1997. Renewable energy: White Paper laying down a Community strategy and action plan, Bruxelles.
- Commissione Europea, 2000. Towards a European strategy for the security of energy supply, Bruxelles.

- Cooper J.C., 1996. Legislation to protect and replace trees on private land: ordinances in Westchester County, New York. *Journal of Arboriculture* 22 (6): 270-278.
- Coops N.C., Waring R.H., Landsberg J.J., 1998. Assessing forest productivity in Australia and New Zealand using a physiologically-based model driven with average monthly weather data and satellite-derived estimates of canopy photosynthetic capacity. *Forest Ecology and Management* 104: 113-127.
- Coops N.C., Waring R. H., 2001. The use of multiscale remote sensing imagery to derive regional estimates of forest growth capacity using 3-PGS. *Remote Sensing of Environment* 75: 324 –334.
- Covone F., 2006. Analisi strutturale e funzionale dei sistemi vegetazionali presenti nel Parco Regionale dei Castelli Romani Dottorato Di Ricerca In Scienze Ecologiche XVIII Ciclo. Dipartimento di Biologia Vegetale, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”
- De Rita D. 1993. Il vulcanismo della regione Lazio. Società geologica italiana, guide geologiche regionali, 5: 50-64.
- De Rita D., Di Filippo M., Sposato A., 1993. Carta geologica del complesso vulcanico Sabatino In “Sabatini Volcanic Complex”, Edited by Michele Di Filippo, Quaderni de “la ricerca scientifica”, CNR, 114.
- Decourt N., 1973. Production primaire, production utile: méthode d'évaluation, indice de productivité. *Ann. Sci. Forst.*, 30(3): 219-238.
- Dewar R.C., 1991. Analytical model of carbon storage in the trees, soils, and wood products of managed forests. *Tree Physiology* 8: 239-258
- Dezi S, Magnani F, 2007. Effetto del suolo su funzionalità e accrescimento dei soprassuoli forestali: un'analisi di sensitività del modello 3-PG. *Forest@* 4 (3): 298-309
- Di Blasi C., Tanzi V., Lanzetta M., 1997. A study on the production of agricultural residues in Italy. *Biomass and Bioenergy* 12, 321:331
- Dixon R.K., Brown S., Houghton R.A., Solomon A.M., Trexler M.C., Wisniewski J., 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185-190.
- Dye P.J., Jacobs S., Drew D., 2004. Verification of 3-PG growth and water-use predictions in twelve Eucalyptus plantation stands in Zululand, South Africa. *Forest Ecology and Management* 193: 197-218
- Enea, 2008. Indagine sui bacini agro-energetici nella regione Lazio. Assessorato Agricoltura (non pubblicato)
- Enea, 2009a - Rapporto energia ambiente. L'analisi 2007-2008. Roma

- Enea, 2009b. Censimento potenziale energetico biomasse, metodo indagine, atlante Biomasse su WEB-GIS. A cura di: Motola V., Colonna N., Alfano V., Gaeta M., Sasso S., De Luca V., De Angelis C., Soda A., Braccio G. Rapporto Enea, Roma.
- Enea, 2010. Rapporto energia ambiente. Analisi e scenari 2009. Roma
- Esprey L.J., Sands P.J., Smith C.W., 2004. Understanding 3-PG using a sensitivity analysis. *Forest Ecology and Management* 193: 235-250
- Eta, 2003. Una metodologia GIS per uno sfruttamento efficiente e sostenibile della “risorsa biomassa” a fini energetici. Progetto BIOSIT (LIFE00 ENV/IT/000054); DEART - Dipartimento Economico Agrario Risorse Territoriali Università di Firenze.
- Freppaz D, Minciardi R, Robba M, Rovatti M, Sacile R, Taramasso A., 2004. Optimizing forest biomass exploitation for energy supply at a regional level. *Biomass and Bioenergy* 26: 15-25.
- Gambino R., 1991. I parchi naturali. Problemi ed esperienze di pianificazione nel contesto ambientale. La Nuova Italia Scientifica. Roma
- Garten Jr C.T., Post III W.M. Hanson P.J., Copper L.W., 1999. Forest soil carbon inventories and dynamics along an elevation gradient in the southern Appalachian Mountains. *Biogeochemistry* 45: 115-145.
- Gerardi V., Scoditti E., 1995. Piano locale per lo sviluppo e la promozione dell'uso energetico delle fonti rinnovabili, progetto Altener, ENEA.
- Gerardi V., 2000. Analisi della convenienza tecnico economica su una ipotesi di utilizzazione del legno a scopi energetici. *Energia Ambiente ed Innovazione*, ENEA, n. 3 p.30-35.
- Gerardi V., Perrella G., 2001. I Consumi Energetici di Biomasse nel Settore Residenziale in Italia nel 1999. ENEA, Roma, 35 p.
- Giordano G., 1995. Tecnologia del legno. UTET, Milano.
- Grace J., 2001. Carbon cycle. In *Encyclopedia of Biodiversity* Vol. 1, Academic Press, 609-629.
- Guerrieri M., 2006. Potatura del nocciolo- Phd -Università degli Studi della Tuscia, Viterbo
- Hansen J., Sato M., Ruedy R., Lacis A., Oinas V., 2000. Global warming in the twenty-first century: an alternative scenario. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 97, 9875-9880.
- Hansen J., Sato M., 2001. Trends of measured climate forcing agents. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol. 98, Iusse 26, 14778-14783, December 18, 2001
- Harmon ME, Ferrell WK, Franklin JF., 1990. Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young forests. *Science* 247: 699-702

- Hellrigl, B., 2007. Elementi di xiloenergetica. AIEL, Padova.
- Hofmann A., 1963. La conservazione dei cedui di faggio. Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali, Vol. XII: 145-164.
- Homann P.S, McKane R.B., Sollins P., 2000. Belowground processes in forest-ecosystem biogeochemical simulation models Forest Ecology and Management 138: 3-18
- Houde J., 1997. Public property tree preservation. Journal of Arboriculture 23 (2): 83-86
- IEA, 2004. World Energy Outlook 2004, Paris.
- IEA, 2010. World Energy Outlook 2010, Paris.
- IPCC, 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry
- IPCC, 2007. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor e H.L. Miller (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Ispra, 2009. Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2007. National Inventory Report 2009, Roma.
- Ispra, 2010 Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2008 National Inventory Report 2010
- Istat, 1990. IV Censimento Generale dell'Agricoltura dell'Agricoltura, Roma, 1991
- Istat, 2000.V Censimento Generale dell'Agricoltura, Roma, 2001
- Itabia, Italian Biomass Association, 2003. Le biomasse per l'energia e l'ambiente. Rapporto 2003. Roma
- Itabia, Italian Biomass Association, 2008. I traguardi delle bioenergie in Italia. Rapporto 2008. Roma
- Jonas A., Haneder H., Furtner K., 2005. Energie aus Holz. Landwirtschaftskammer Niederösterreich St. Polten
- Ketteringsq M., Richard C., Noordwijk M., Ambagau Y., Palm C.A., 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. Forest Ecology and Management 146: 199-209.
- La Fauci A., Mercurio R., 2008. Caratterizzazione della necromassa in cedui di castagno (*Castanea sativa* Mill.) in Aspromonte. Forest@ 5: 92-98
- Lai G., Fiala M., 1996. Applicazione a livello territoriale delle metodologie ENEA-A.I.I.A alle Regioni Emilia-Romagna e Abruzzo. ENEA

- Landsberg J.J., Johnsen K.H., Albaugh T.J., Allen H.L., McKeand S.E., 2001. Applying 3-PG, a simple process-based model designed to produce practical results, to loblolly pine experiments. *Forest Science*, 47: 1-9
- Landsberg J.J., Waring R.H. 1997. A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *For. Ecol. Manage.* 95: 209-228
- Landsberg JJ, Waring RH, Coops NC., 2003. Performance of the forest productivity model 3-PG applied to a wide range of forest types. *Forest Ecology and Management* 172: 199-214.
- Lehtikangas P., Jirjis R., 1998. Storage of logging residues in bales. *Proc. 10th EU Bioenergy Conference, Biomass for Energy and Industry, Wurzburg (D) June 1998.*
- Liski J., Perruchoud D., Karjalainen T., 2002. Increasing carbon stocks in the forest soils of Western Europe. *Forest Ecology and Management*, 169: 163-179.
- Liski J., Korotkov A.V., Prins C.F.L., Karjalainen T., Victor D.G., Kauppi P.E., 2003. Increased carbon sink in temperate and boreal forests. *Climatic Change*, 61: 89-99.
- Lo Cascio M., 1984. Analisi quantitativa della struttura del mercato creditizio italiano. *Bollettino degli interessi sardi*, 4.
- Lombardi L., Giannotti G., 1969. Idrogeologia della zona a sud-est del lago di Bracciano. *Boll. Soc. geol. It.*, 88 (1).
- Lulli L., 1971. I suoli delle vulcaniti che circondano il lago di Bracciano. *Ann. Ist. Sperim. Studio e Difesa del Suolo*, Firenze, Vol. I
- Lupia F., Pulicani P. e Colonna N., 2006. Un modello di processamento per lo sfruttamento ottimale delle biomasse legnose. *IX Conferenza Utenti ESRI, Roma.*
- M.A.F., I.S.A.F.A., 1988 - *Inventario Forestale Nazionale 1985*, Roma
- Mackintosh H., 1987. Tree preservation orders: the differing needs of urban and rural areas. *Quarterly Journal of Forestry* 81 (3): 158-168.
- Macrì A., 2006. Uso di dati amministrativi nella rilevazione dei tagli boschivi. *Alberi e territorio* anno III
- Magnani F , Grassi G , Tonon G , Cantoni L , Ponti F , Vicinelli E , Boldregghini P , Nardino M , Georgiadis T , Facini O , Rossi F., 2005. Quale ruolo per l'arboricoltura da legno italiana nel protocollo di Kyoto? Indicazioni da una "Kyoto forest" della pianura emiliana *Forest@ 2* (4): 333-344
- Magnani F, 2005. Carbonio, energia e biomasse forestali: nuove opportunità e necessità di pianificazione. *Forest@ 2* (3): 270-272.

- Menna P., 1996: Censimento delle fonti rinnovabili sul territorio italiano. HTE anno XVII, 109-125.
- Ministero dell'ambiente, 2009. Le sfide ambientali. Roma pp. 129
- Murray B.C., Pringle S.P., Birdsey R.A., Sampson R.N., 2000. Carbon sinks in the Kyoto Protocol: potential relevance for US Forests. J. For. 98 (9): 6–11.
- Nati C., Spinelli R., Magagnotti N., Verani S., 2007. Dalle potature di olivo biomassa per usi energetici. L'Informatore Agrario 9
- Nati C., Scarpini A., 2009. Un software ci dice se conviene produrre energia da biomasse. L'Informatore Agrario 40.
- Nati C., Spinelli R., Verani S., 2009b. Protocollo tecnico di utilizzazione dei boschi cedui, in “La filiera legno-energia risultati del progetto interregionale Woodlan Energy”. Arsia Toscana
- Paolinelli F., 1984. Gli alberi e la città. Edizioni ERI, Torino
- Papale D., 2006. Il Progetto CARBOITALY: una rete nazionale per la misura dei sink forestali e agricoli italiani e lo sviluppo di un sistema di previsione dell'assorbimento dei gas serra. Forest@ 3 (2): 165-167
- Pardè D.R., 1980. Forest biomass. For. Abst., 41: 343-362.
- Pari L., Sissot F., 2001a. La rotoimballatura delle potature di pesco e olivo. L'Informatore Agrario 42
- Pari L., Sissot F., 2001b. Prove di raccolta di cascami di vite e pesco con imballatrice Arbor RS 170. L'Informatore Agrario 12
- Pari L., Sissot F., 2001c. Prove di trinciatura e raccolta dei cascami di potatura in campo. L'Informatore Agrario 45
- Pari L., 2004. An innovative pruning harvester. Atti della 2° Conferenza mondiale “Biomass for Energy, Industry and Climate Protection”. Roma, 10-14 maggio.
- Pari L., Croce S., Acampora A., 2010. Raccolta dei residui di potatura. Recupero energetico dei cascami d'olivo nel Salento. Sherwood-Foreste ed alberi oggi, 168 Supplemento 2
- Parikka M., 2004. Global biomass fuel resources. Biomass and Bioenergy 27: 613-620.
- Pavari A., 1955. Il problema dei boschi cedui in Italia. Monti e Boschi, 6 (8): 339-350.
- Perruchoud D., Kienast F., Kaufmann E., Braker O.U., 1999. 20th Century carbon budget of forest soils in the Alps. Ecosystems, 2: 320-337.
- Pignatti S., 1998. I boschi d'Italia. Sinecologia e biodiversità. UTET, Torino.

- Portoghesi L., 2002. Uso del legno a fini energetici: un rischio o un'opportunità per il ceduo? In: Il Bosco Ceduo in Italia (eds Ciancio O, Nocentini S), pp. 521-537. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze.
- Portoghesi L., Cerulli A., Bollati S., 2006. Piano di assetto del Parco Regionale naturale di Bracciano e Martignano- la vegetazione naturale del Parco e la Carta della vegetazione su basi fisionomiche. Università degli Studi della Tuscia.
- Profous G.V., Loeb R.E., 1990. The legal protection of urban trees: a comparative world survey. *Journal of Environmental Law* 2 (2):179-193.
- Ranger J., 1978. Recherches sur les biomasses comparées de deux plantations de Pin laricio de Course avec ou sans fertilisation. *Ann. Sci. Forest.*, 35(2): 93-115.
- Ranger J., Nys C., Ranger D., 1981. Etude comparative de deux écosystèmes forestiers feuillus et résineux des Ardennes primaires françaises. *Ann. Sci. Forest.*, 38(2): 259-282.
- Regione Lazio, Assessorato all'Ambiente Direzione Ambiente e Protezione Civile, 2003. La copertura del suolo nelle aree protette delle Regione Lazio- Elaborazione dal Corine Land Cover- Roma.
- Recchia L., Daou M., Rimediotti M., Cini E., Vieri M., 2009. New shredding machine for re cycling pruning residuals. *Biomass and bioenergy* 33: 149-154
- Riva G., Carbone G., 1986. E' fattibile in Italia l'utilizzazione energetica dei boschi? Problemi e sintesi delle valutazioni sulle risorse forestali con particolare riferimento ai cedui, *Rivista di Ingegneria Agraria* 4: 242-250
- Romagnoli M., Spina S., Agrumi M., Di Tommaso S., Ortensi E., Lodi P., Ludovisi R., 2009. Valorizzazione del legno di castagno nel Lazio: provenienze a confronto. Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura. Taormina (ME), 16-19 ottobre 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, p. 894-901.
- Sands PJ, Landsberg JJ., 2002. Parameterisation of 3-PG for plantation grown in *Eucalyptus globulus*. *Forest Ecology and Management* 163: 273-292.
- Sands, P.J., 2004. Adaptation of 3 PG to novel species: guidelines for data collection and parameter assignment. Cooperative Research Centre for Sustainable Production Forestry. CSIRO Forestry and Forest Products- Technical report n. 141
- Sanesi G., 2001. Stato dell'arte della regolamentazione del verde urbano in Italia. Prima indagine sui comuni capoluogo di provincia. Atti del convegno "La regolamentazione del verde urbano" Bari, 28 settembre 2001

- Santa Regina I., Tarazona T., Calvo R., 1997. Aboveground biomass in a beech forest and Scots pine plantation in the Sierra de la Demanda area of northern Spain. *Ann.Sci.For.* 54: 261-269.
- Scarascia Mugnozza G., Bauer G., Persson H., Matteucci G., Masci A., 2000. Tree biomass, growth and nutrient pools. In : Schulze E.D. (Ed.), *Carbon and Nitrogen cycling in European Forest Ecosystem*. Springer, Heidelberg: 49-62.
- Schlamadinger B., Marland G., 1996. The role of forest and bioenergy strategies in the global carbon cycle. *Biomass and Bioenergy* 10: 275-300.
- Scholes RJ, Noble IR, 2001. Storing carbon on land. *Science* 294: 1012-1013.
- Scoppola A., Caporali C., 1996. I boschi caducifogli mesofili con faggio della provincia di Viterbo: aggiornamento sulla distribuzione. *Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali*, Firenze, Vol. XLV, 167-188.
- Scoppola A., Caporali C., 1998. Mesophilous woods with *Fagus sylvatica* L. of northern Latium (Tyrrhenian Central Italy): Synecology and syntaxonomy. *Plant Biosystems*, 132 (2), 151-168
- Sperandio G., Verani S., 1996. Produttività di lavoro e costi di utilizzazioni di boschi cedui: risultati di un quindicennio di esperienze. *Monti e Boschi* 47 (4).
- Spiegel, 1976. *Statistica*. Schaum Etas libri
- Spinelli R., Spinelli R., 2000. Prove di imballatura delle potature di olivo. *L'Informatore Agrario* 4
- Spinelli R., 2003. Macchine a cantieri riuniti per la raccolta dei residui di potatura. *L'Informatore Agrario* 14
- Spinelli R., Magagnotti N., Picchi G., 2007. La cippatrice Jordan RH 25 al lavoro sulle potature di olivo- *L'Informatore Agrario* 41
- Spinelli R., Nati C., Magagnotti N., Civitarese V., 2006. Produrre biomassa dai sarmenti di vite- *L'Informatore Agrario* 28
- Spinelli R., Magagnotti N., 2009. Raccolta dei residui di potatura conveniente per i viticoltori. *L'Informatore Agrario* 6
- Spinelli R., Picchi G., 2010. Industrial harvesting of olive tree pruning residue for energy biomass. *Bioresource Technology* 101: 730-735.
- Spinelli R., Magagnotti N., Nati C., 2010. Harvesting vineyard pruning residues for energy use. *Biosystem engineering* 105: 316-22

- Stape JL, Ryan MG, Binkley D., 2004. Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis* X *urophylla* with natural and manipulated supplies of water and nutrients. Forest Ecology and Management 193: 219-234.
- Tani A., Maltoni A., Mariotti B., 2003. La produzione legnosa di castagno in Italia. Sherwood 92: 5-10
- Tarantino E., Disciglio G, 2006. Agricoltura nelle aree protette: aspetti agronomici- Italian Journal of Agronomy- January-March 2006- supplement ISSUE
- Tescarolo P., Pignatti S. – Studio della fattibilità per un programma di riqualificazione della flora del Parco regionale di Bracciano-Martignano. Manoscritto non datato
- Turner D.P., Koerper G.J., Harmon M.E., Lee J.J., 1995. A carbon budget for forest of the Conterminous United States. Ecological Applications 5: 236-421.
- Ventriglia U., 1989. Idrogeologia della Provincia di Roma II Volume Regione vulcanica Sabatina- a cura dell'Amministrazione Provinciale di Roma-Assessorato LL.PP. Viabilità e Trasporti- Roma
- Waring R. H., Running S. W., 1998. Forest Ecosystem. Analysis at multiple scales. London: Academic Press.
- Waring R.H., 2000. A process model analysis of environmental limitations on the growth of Sitka spruce plantations in Great Britain. Forestry 73: 65-79
- Waring RH, Landsberg JJ, Williams M., 1998. Net primary production of forest: a constant fraction of gross primary production? Tree Physiology 18: 129-134.
- Waring RH, McDowell N., 2002. Use of a physiological process model with forestry yield tables to set limits on annual carbon balances. Tree Physiology 22: 179-188.
- Westoby M., 1984. The self-thinning rule. Advance in Ecological Research 14: 167-225.

Siti web consultati

NOAA- <http://www.ncdc.noaa.gov/cmb-faq/anomalies.htm>)

Apat (<http://www.sinanet.apat.it/it/emissioni>,

EurObserv'ER <http://www.eurobserv-er.org/>

EIA <http://www.worldenergyoutlook.org/2004.asp>

EIA <http://www.worldenergyoutlook.org/2010.asp>

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare il Professore Giuseppe Scarascia Mugnozza per avermi dato questa opportunità e per avermi incoraggiato a non mollare. Grazie a Nicola Colonna per il supporto scientifico e morale, ma grazie anche per la comprensione, per la pazienza e la disponibilità.

Grazie al Presidente Cesare Bassanelli, al Direttore Mino Calò e a tutti i tecnici del Parco di Bracciano-Martignano per i sopralluoghi, le pesate, la burocrazia, il database ...

Grazie a Paolo e Ruggero.. semplicemente Grandi!

Grazie a Mirko e Massimiliano per l'aiuto in laboratorio.

Grazie a Gianluca e Roberto per i rilievi in campo.

Grazie a Marco e Luca per il supporto informatico.

Grazie al gruppo Meo, Intrega e Esa per avermi coinvolta nel progetto. Un grazie speciale a Ileana per la bontà, la pazienza l'umanità che mi ha sempre dimostrato.

Grazie a tutti i colleghi del Cra-Ing per la comprensione delle giornate di "assenza causa doct".

Un affettuoso ringraziamento alla mia famiglia perché sempre e comunque mi sostiene, mi sopporta, supporta e mi ascolta. Grazie ad Alessandro e a tutti i mici per il bene che mi vogliono, ma grazie anche a Bull perché finalmente dorme tranquillo in salone mentre io scrivo i ringraziamenti.