

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA

FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E
NATURALI

Corso di laurea magistrale in
SCIENZE PER L'AMBIENTE

**Riforestazione e gestione dell'uso del suolo come
metodo di cattura della CO₂ contro i cambiamenti
climatici nella zona costiera di Ravenna**

Tesi di laurea in idrologia ambientale

Relatore:

Prof. MARCO ANTONELLINI

Co-relatore:

Dott.ssa PAULINE MOLLEMA

Contro relatore:

Dott. ALESSANDRO BUSCAROLI

Presentata da:

MONICA CIBIEN

Il Sessione

Anno accademico 2010-2011

Sommario	
Riassunto	4
Introduzione.....	5
Scopo del lavoro	5
Rinaturalizzare le aree agricole.	6
Capitolo 1 Ruolo del Carbonio	9
1.1 Effetto Serra e Cambiamento climatico	9
1.2 Quadro politico internazionale sui Cambiamenti Climatici.....	13
1.3 Protocollo di Kyoto	15
1.3.1 Protocollo di Kyoto in Italia	16
1.4 Progetti e casi studio.....	19
1.5 Ciclo del Carbonio.....	21
1.5.1 Ciclo idrologico e ruolo delle acque nel ciclo del Carbonio	24
1.5.2 Suolo e uso del suolo	26
1.5.3 Biosfera.....	28
1.6 Ruolo delle foreste	30
1.6.1 Ruolo della vegetazione	31
1.6.2 Andamento dell'immagazzinamento del Carbonio.	31
1.6.3 Ripartizione della CO ₂ accumulata nelle piante	33
1.6.4 Linee guida dell' IPCC	34
1.7 Piani e Programmi di gestione territoriale	36
1.7.1 Piano Territoriale di coordinamento provinciale	36
1.7.2 Programma di Sviluppo Rurale 2007-2013	37
1.7.3 Programma Rurale integrato Provinciale.....	38
1.7.4 Piano forestale Regionale 2007-2013	39
Capitolo 2 Area di studio	40
2.1 Area di studio	40
2.1.1 Clima.....	43
2.1.2 Cave	46
2.1.3 Ambienti naturali: Pinete e zone umide	47
2.1.4 Suolo.....	52

2.2	Uso del suolo attuale nell'area di studio	55
2.3	Uso del suolo futuro: Scenari IPCC	56
2.4	Colture e vegetazione nell'area di studio	58
2.5	Fonti di emissioni di CO ₂ nell'area di studio: Traffico veicolare	61
Capitolo 3 Metodi di analisi		64
3.1	Analisi storica dei cambiamenti dell'uso del suolo	64
3.1.1	Confronto dei cambiamenti dell'uso del suolo.	66
3.1.2	Scenari futuri di uso del suolo.	70
3.2	Sostanza organica nei suoli e nelle acque	71
3.2.1	Campionamento dei suoli	71
3.2.2	Campionamento acque superficiali e di falda	75
3.2.3	Descrizione dei siti di campionamento dei suoli	76
3.3	Analisi delle acque	78
3.3.1	Determinazione dei Cloruri	78
3.3.2	Determinazione DOC	78
3.4	Analisi dei Suoli.....	82
3.4.1	Metodo Walkley Black	82
3.4.2	Analizzatore elementare CHNSO	83
3.5	Metodo di calcolo del tasso di riforestazione	86
3.5.1	Modelli di calcolo	86
3.5.2	Modello CSEM.....	88
3.6	WATER_DST	90
Capitolo 4 Risultati		92
4.1	Calcolo di CO ₂ emessa nell'area di studio.....	92
4.2	Tasso di riforestazione per compensare la CO ₂ prodotta	94
4.2.1	Modello CSEM.....	94
4.3	Carbonio Organico nel suolo	104
4.4	Carbonio organico nelle acque	116
4.5	WATER_DST	119
Capitolo 5 Discussione dei risultati e considerazioni finali		127
5.1	Discussione dei risultati	131

Azioni a livello provinciale e comunale	134
Considerazione finale.....	137
Bibliografia.....	139

Riassunto

L'area di studio, Quinto Bacino, è situata a sud della città di Ravenna e compresa dai fiumi Uniti a nord e dal torrente Bevano a sud. Il principale uso del suolo dell'area è di tipo seminativo irriguo ma ci sono altri importanti usi come la presenza di due pinete, Pineta Ramazzotti e Pineta di Classe, cave di ghiaia, la spiaggia e le zone umide comprese tra le due pinete. La stima delle emissioni antropiche di CO₂ è di 75 x10³ t/a. Per contrastare queste emissioni in un arco di tempo di 30 anni sono necessari 577 ha di Pino spp. ,o 727 ha di conifere ,o 505 ha di latifoglie o 536 ha di querce cedue. Per un periodo di 60 anni gli ettari necessari diminuiscono in funzione della curva di accrescimento di ogni specie: 319 ha Pino spp, 447 ha di conifere,496 ha di latifoglie e 529 ha di querce cedue. La capacità del suolo attuale di immagazzinare il C è di 659 x10³ t. Dagli scenari A1b e A2 per il 2100 proposti dall'IPCC i cambiamenti di uso del suolo futuri porteranno ad una capacità maggiore di C nel suolo per gli scenario A1b e A2 "*green planning*" mentre ad una minor quantità di C organico nel suolo per A1b e A2 "*grey planning*"

Per quantificare il ciclo del carbonio nell'area sono state analizzate anche le acque dei principali corsi e canali. La stima di C organico per il torrente Bevano è di 0.8 t/a mentre per i fiumi Uniti è di 7 t/a.

Infine dal confronto con la quantità di C organico nel suolo negli anni 80 e con quello attuale si può affermare che il 70% dei campioni di suolo contiene una percentuale di C organico scarso, da 4.5 -.9 g/kg di C, il 20 % medio, da 9.1-13.6 /kg di C e solo un campione di suolo "molto elevato", oltre 30 g/kg di C organico.

Introduzione

Scopo del lavoro

Questo lavoro si propone di studiare a scala locale la possibilità di catturare la CO₂ proveniente da emissioni antropiche, per mezzo della vegetazione e della riforestazione di zone, per lo più agricole, nell'area di Ravenna. In relazione a questo metodo lo studio si propone anche di valutare in che modo il cambiamento dell'uso del suolo dal 1994 ad oggi ha modificato la relazione tra cattura e rilascio di CO₂ in quanto anche il suolo è considerato un importante serbatoio di carbonio.

Per mezzo di una ricerca bibliografica e lo studio diretto del territorio questo lavoro contiene un primo calcolo della capacità di cattura di CO₂ di piante "tipiche" della zona ravennate. Quindi l'idea da cui parte il lavoro è di calcolare la biomassa necessaria per la rimozione in atmosfera della CO₂ emessa nell'area di studio. Tale lavoro si concentra in un bacino idrografico tipico del ravennate che contiene diversi usi del suolo; "Quinto Bacino". Sarà perciò un lavoro che considera più aspetti di tutto il ciclo del carbonio e non solo il calcolo della CO₂ prodotta in una foresta o in città.

Nell'area di interesse, Quinto Bacino, con una superficie di circa 10350 ettari, l'idea non è quella di creare foreste ma creare delle zone di bosco che possano coesistere con i campi agricoli. L'idea è sostenuta dal fatto che si può creare una situazione di interscambio tra bosco e coltivazioni.

Un altro punto importante è il calcolo del bilancio del carbonio nell'area costiera di Ravenna e la sua relazione con il ciclo idrologico. Calcolare come il carbonio passa da una componente ambientale all'altra è importante per focalizzare i punti in cui intervenire, attraverso il metodo di cattura in esame, per equilibrare le sorgenti di carbonio con i punti di stoccaggio e cattura. Correlato a tale aspetto si vuole quantificare il ruolo del Carbonio organico disciolto nelle acque superficiali e sotterranee

presenti nell' area di studio. Lo scopo delle analisi sulle acque raccolte è quello oltre che descrivere il ciclo del carbonio nella componente acquatica dell'area è capire come le acque in entrata ed uscita dal bacino si arricchiscono o meno di sostanza organica sia nelle aree di riferimento, zone, che nelle aree potenzialmente interessate da una futura riforestazione. La presenza di vegetazione e di un suolo con una percentuale maggiore di sostanza organica influenza la composizione delle acque e viceversa.

Infine per una stima realistica del numero di specie vegetali da impiegare per un abbattimento significativo della CO₂ è necessario un confronto storico dei cambiamenti dell'uso del suolo nell'area di studio.

Rinaturalizzare le aree agricole.

Negli ultimi anni la concezione di campo agricolo ha subito modifiche sostanziali verso una funzione unicamente produttiva tralasciando quegli elementi del paesaggio agrario che contribuivano a mantenerlo in equilibrio con l'ambiente originario (Regione Sardegna, 2010).

Le politiche agricole degli ultimi anni si sono concentrate a favorire l'aumento della produttività dei terreni incentivando la rimozione di diversi elementi essenziali per il mantenimento dell'intero ecosistema e alla scomparsa di pratiche estensive.

Il modello di agricoltura intensivo sta mostrando alcuni limiti e la sua intensificazione ha creato seri problemi all'ambiente e alla biodiversità europea. Infatti con l'utilizzo di macchine sempre più ingombranti la necessità di spazi per lavorare ha portato alla scomparsa dei perimetri alberati dei campi agricoli.

Non si tratta solo di un impoverimento biologico con la riduzione o scomparsa di gran parte della biodiversità animale e vegetale, e del degrado del paesaggio, ma di problemi di ecologia funzionale quali:

- L'eliminazione delle barriere verticali, costituite dalle siepi e dalle fasce di bosco comporta un aumento della velocità del vento sulla

superficie coltivata, accentuandone l'attività erosiva e la sua capacità di asportare l'umidità.

- La lavorazione profonda sta riducendo marcatamente la quantità di humus del terreno, con grave interferenza dei meccanismi che ne assicurano la struttura e la fertilità.
- L'eliminazione dei corsi d'acqua come le canalette e i fossi elimina la possibilità di auto-depurazione che essi posseggono naturalmente in maniera che una maggiore quantità di agenti inquinanti raggiunge più facilmente le falde o i corsi d'acqua maggiori.
- La riduzione di biodiversità comporta la scomparsa o il mancato diradamento dei predatori naturali e di vari parassiti. La lotta ai parassiti richiede maggiori quantità di fitofarmaci, con conseguente maggiore spesa e maggiore inquinamento ambientale.
- La riduzione della biodiversità riduce il numero e la varietà degli insetti impollinatori diminuendo la produttività delle coltivazioni che richiedono la presenza e l'attività di questi insetti.

Si definisce siepe una fascia di vegetazione di lunghezza variabile ed una larghezza di pochi metri, costituita da alberi o arbusti posti in filari, da una moltitudine di specie erbacee, arricchita spesso con elementi quali muretti a secco, sassi, staccionate, etc. Le siepi costituiscono un tassello fondamentale per l'ecosistema agrario svolgendo diverse funzioni quali: estetica, micro habitat per piante e animali, difesa del suolo dall'erosione, barriere frangivento, protezione delle sponde dei corsi d'acqua, particolare area di rifugio per la fauna e numerosi microorganismi, corridoi naturali, riparo e delimitazione della proprietà dei fondi agricoli, barriere per rumori e dispersione di particelle inquinanti provenienti dalle strade.

La ricostituzione di elementi naturali o caratteristici del paesaggio locale, come siepi e corsi d'acqua rappresenta un argomento che anche a livello comunitario è stato discusso e accompagnato da direttive e regolamenti (Reg 17507/ 99, Reg. CE n. 1698/2005)

Gli agricoltori attraverso il ripristino delle siepi, un utilizzo corretto delle pratiche agricole e zootecniche, una riduzione ed un uso sostenibile con l'ambiente di varie sostanze chimiche, possono contribuire positivamente alla salvaguardia della biodiversità, alla difesa del suolo e delle acque con un miglioramento complessivo del paesaggio.

Il mantenimento degli elementi del paesaggio agrario quali boschetti, siepi, aree marginali, aree cespugliate, coltivi abbandonati, aree alberate non produttive è indispensabile per la sopravvivenza di molte specie selvatiche e possono rappresentare l'inizio di piccole ma importanti azioni di rinaturalizzazione.



Fig. 0.1 Immagini relative ad aree agricole della Pianura Padana con perimetri riforestati. Fonte : Google Earth

La realizzazione e la presenza di aree agricole ha comunque come impatto ambientale quello di portare alla perdita e degradazione di suolo (Boano et al, 2003) che però si ritiene ormai reversibile o comunque mitigabile attraverso la realizzazione di fasce vegetate con un numero di alberi e arbusti superiore a quello delle piante abbattute prima del cambiamento dell'uso del suolo (Boano et al, 2003).

Per una stima realistica della quantità di vegetazione si rende necessario un confronto storico dei cambiamenti dell'uso del suolo dell'area di studio.

Capitolo 1 Ruolo del Carbonio

In climatologia l'espressione riscaldamento globale è usata per indicare, in riferimento alla storia climatica della Terra, le fasi di aumento della temperatura media dell'atmosfera terrestre e degli oceani dovute a cause naturali: variazioni glacio-eustatiche, astronomiche, e dell'effetto serra. Questo termine non è da confondere con il surriscaldamento globale che implica l'azione dell'uomo come causa principale dei cambiamenti climatici. Oggi rimane ancora aperto il dibattito all'interno della comunità scientifica mondiale sulla responsabilità dell'uomo per il surriscaldamento globale. Se da una parte l'IPCC considera certo il coinvolgimento dell'uomo, dall'altra parte diversi scienziati e climatologi afferenti all' N.I.P.C.C. , *No Governative International Panel on Climate Change* , una commissione internazionale «non governativa» , sostengono e provano che il riscaldamento è un processo solo naturale. Con il rapporto "*Climate change reconsidered*" si sostiene che le emissioni antropiche dei gas ad effetto serra , e in generale le azioni dell'uomo, sono irrilevanti, come le conseguenze associate, rispetto alla quantità emessa naturalmente e ai cicli naturali (Singer et al.,2007).

Nonostante le diverse posizioni, con questo lavoro sostengo che le emissioni antropiche vanno mitigate e contrastate proponendo perciò come metodo di cattura della CO₂ la vegetazione.

1.1 Effetto Serra e Cambiamento climatico

Senza le intense attività umane con le loro emissioni, la terra mantiene un delicato equilibrio di gas ad effetto serra (*Green House Gas* ,GHG). Questi gas fanno sì che le radiazioni solari passino attraverso l'atmosfera, mentre ostacolano il passaggio verso lo spazio di parte delle radiazioni infrarosse provenienti dalla superficie della Terra e dalla bassa atmosfera (Fig. 1.1). Questo comporta che il calore venga trattenuto e la temperatura media

della Terra sia di circa 16°C, un valore notevolmente più alto di quanto non sarebbe in assenza di questi gas (Medaglia C.,2010).

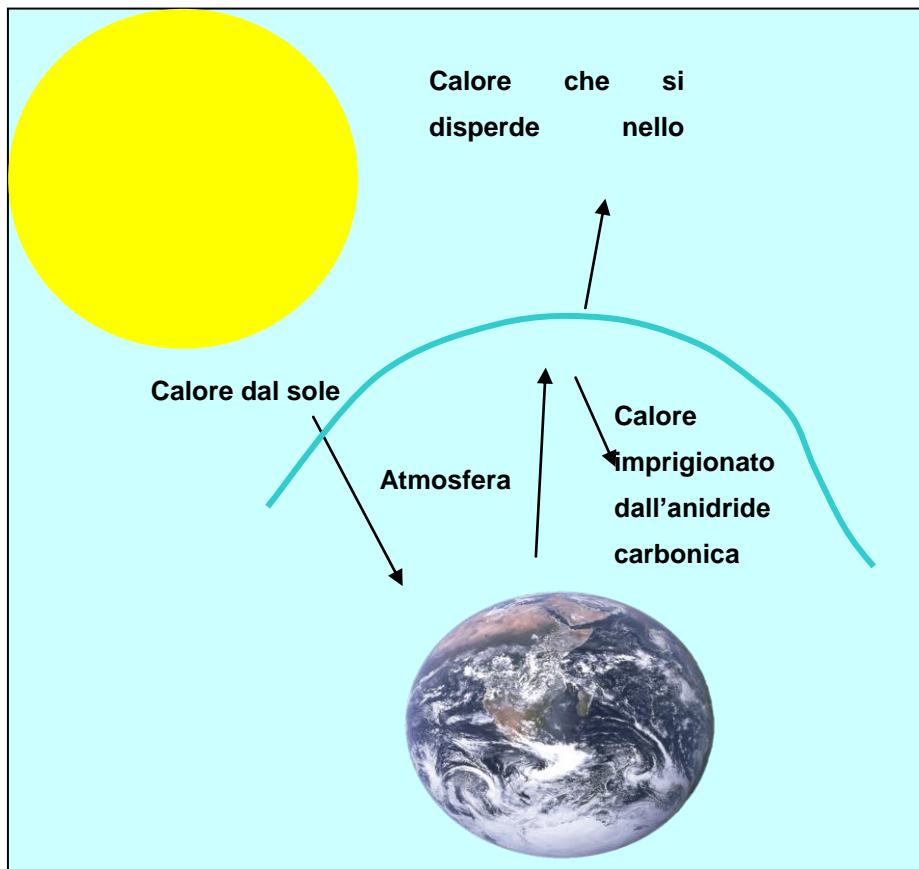


Fig. 1.1 Effetto dei gas-serra sulla radiazione entrante e uscente dal sistema Terra.

Secondo il Rapporto dell'IPCC "Climate Change" del 2007 le emissioni globali dei gas serra sono cresciute dal periodo pre-industriale, con un incremento del 70% tra il 1970 e il 2004. Le emissioni di questi gas sono aumentate con tassi differenti. Le emissioni di CO₂ sono cresciute fra il 1970 e il 2004 di circa l'80% (del 28% tra il 1990 e il 2004) e nel 2004 hanno rappresentato il 77% delle emissioni antropogeniche totali di gas serra.

La crescita maggiore delle emissioni globali di GHG, fra il 1970 e il 2004 proviene dal settore energetico (con un aumento del 145%). La crescita delle emissioni dirette in questo periodo per il settore dei trasporti è stata del 120%, del 65% per l'industria e del 40% per l'uso del suolo, il cambiamento di uso del suolo e la gestione delle foreste (IPCC, 2007).

Questi gas sono rilasciati nell'atmosfera da una varietà di fonti naturali quali ad esempio la decomposizione della materia organica e degli alberi morti che annualmente rilasciano 196 miliardi di tonnellate di biossido di carbonio (CO₂) (Hamburg et al., 1997).

Gas a effetto serra e principale fonte di emissione	Tempo di permanenza in atmosfera (anni)	Potenziale di riscaldamento GWP	Percentuale sul totale delle emissioni esclusi i disboscamenti
Biossido di carbonio: <ul style="list-style-type: none"> • combustione di carburanti e combustibili fossili • disboscamenti 	100-150	1	77
Metano <ul style="list-style-type: none"> • Agricoltura:allevamento • Industria e traffico 	12	21	14
Prorossido di Azoto : <ul style="list-style-type: none"> • agricoltura;allevamento • industria e traffico 	120	310	8
Gas Sintetici: HFC idrofluorocarburi PFC:perfluorocarburi SF:esafloruro di zolfo <ul style="list-style-type: none"> • Isolanti; semiconduttori,solventi, refrigeranti 	Da 1.2 a 260 2600 a 50000 3200	Fino a 23900	1

Tab. 1.1 Elenco dei GHG con effetti climalteranti riconosciuti; GWP potenziale contributo all'effetto serra di ogni singola molecola. fonte dati: Inventario svizzero dei gas serra 2010 e IPCC 2007.

Tra i GHG (Tab. 1.1) la CO₂ riveste un ruolo importante come gas climalterante. Nel budget energetico dell'atmosfera la CO₂ è nettamente più importante dei gas come il metano, l'ozono e altri, ma il suo contributo è solo al secondo posto, circa il 25% del totale. il contributo all'effetto serra del vapore acqueo è più del doppio, il 60% in una giornata senza nuvole (Kiehl et al,1996).

Le emissioni di CO₂ sono quasi bilanciate da processi fisici e biologici che rimuovono la CO₂: le acque degli oceani (microorganismi planctonici, alghe calcaree, etc.) e la crescita delle piante costituiscono serbatoi naturali e riserve di CO₂. Approssimativamente il 97% del totale delle emissioni di CO₂ si verificherebbe ugualmente anche se il genere umano non fosse presente sulla Terra. Sebbene le attività umane contribuiscano con una

piccola percentuale all'aggiunta di gas serra in atmosfera (circa il 3% delle emissioni totali naturali annue) ciò è abbastanza per perturbare l'equilibrio naturale.

Due sono i motivi per spiegare come mai si è enfatizzato il ruolo della CO₂ come promotore del cambiamento climatico in questi ultimi decenni. Il primo è il tempo di residenza dei vari gas nell'atmosfera (Bardi, 2010). Ci sono vari processi che possono rimuovere la CO₂ dall'atmosfera. Ce ne sono alcuni che hanno scale di tempi di qualche anno, per esempio il ciclo biologico della fotosintesi e quello della dissoluzione della CO₂ alla superficie degli oceani. Altri cicli che coinvolgono la CO₂ hanno scale temporali di secoli o millenni, ma nessuno di questi rimuove definitivamente la CO₂ dal sistema. Per esempio la CO₂ si discioglie in parte nelle acque profonde dell'oceano, ma questo si può saturare. Il ciclo che veramente rimuove in modo definitivo la CO₂ dall'ecosfera è il ciclo "lungo", ovvero il trasporto per subduzione del carbonio nelle rocce a grandi profondità nel "mantello" terrestre(Bardi, 2010). Da lì la CO₂ viene poi ri-emessa dai vulcani. È un ciclo lunghissimo che dura centinaia di migliaia di anni, o forse anche milioni di anni. La CO₂ che immettiamo oggi nell'atmosfera ci rimane per migliaia d'anni.

Il secondo motivo è che la CO₂ ha sia "feedback positivo" in quanto amplifica il riscaldamento naturale dovuto alle variazioni dell'orbita terrestre(IPCC,2007) che un "feedback negativo" ovvero un effetto destabilizzante sulle temperature(Cook, 2010).

Nonostante

1.2 Quadro politico internazionale sui Cambiamenti Climatici

Alla fine degli anni ottanta il problema della mitigazione dei cambiamenti climatici è stato inserito nelle agende politiche a livello mondiale. Nel 1988 è stato istituito un Gruppo Intergovernativo di Esperti sul Cambiamento Climatico (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) un organo di informazione scientifica autorevole e aggiornato, che dal 1990 redige rapporti tecnici di previsione sui cambiamenti climatici. Già dal primo rapporto, *First Assessment Report FAR*, reso pubblico nel 1990, venne confermato l'effettivo pericolo di un progressivo cambiamento climatico indotto dalle attività umane e un invito alle comunità internazionali ad un trattato globale per far fronte al problema. Nel Maggio 1992 i governi adottarono la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC) che fu firmata in occasione della Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e Sviluppo a Rio de Janeiro entrando in vigore dal 1994 (UNFCCC, 2002). L'obiettivo della Convenzione è la stabilizzazione della concentrazione dei gas serra nell'atmosfera affinché si possano evitare dannose interferenze antropiche sul sistema climatico. Da quando la convenzione è entrata in vigore le Parti, le 189 nazioni aderenti all'UNFCCC, si incontrano annualmente nella Conferenza delle Parti (COP) che rappresenta l'organo esecutivo della convenzione stessa. Durante la COP si discute delle azioni da adottare per fronteggiare i cambiamenti climatici inoltre la COP ha il compito di monitorare l'implementazione della Convenzione stessa (UNFCCC, 1995). Nel 1997 durante la terza COP, tenutasi a Kyoto, fu adottato il Protocollo di Kyoto. Una sintesi degli eventi associati alla UNFCCC è riportata nella Tab. 1.2 aggiornata da UNFCCC 2011.

Date	Eventi
1988	WMO e UNEP creano l'IPCC. L'Assemblea Generale delle Nazioni Unite prende in considerazione per la prima volta i problemi relativi ai cambiamenti climatici
1990	Viene pubblicato il primo rapporto di previsione dell'IPCC il quale sollecita le negoziazioni internazionali per una Convenzione quadro sui cambiamenti climatici. L'Assemblea Generale delle NU apre le negoziazioni e a tal fine istituisce l' INC.
Febbraio 1991	L' INC si riunisce per la prima volta
9 Maggio 1992	La Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici delle NU viene adottata a New York alla quinta sessione dell'INC.
4 Giugno 1992	La Convenzione viene aperta alle firme all' "Earth Summit" di Rio de Janeiro, Brasile.
21 Marzo 1994	Entrata in vigore della Convenzione.
7 Aprile 1995	Prima COP a Berlino nella quale si aprono le negoziazioni su "un Protocollo o altri strumenti attuativi legali "
11-15 Dicembre 1995	L'IPCC approva il suo secondo rapporto di previsione, il quale sottolinea l'urgenza di un'azione politica più incisiva.
19 Giugno 1996	COP 2, Ginevra. Dichiarazione Ministeriale di Ginevra.
11 Dicembre 1997	COP 3, Kyoto. Viene adottato il Protocollo di Kyoto.
16 Marzo 1998	Il Protocollo di Kyoto è aperto alle firme a New York, al quartier generale delle NU. Nel giro di un anno lo firmano 84 nazioni
14 Novembre 1998	COP 4, Buenos Aires. Creazione del "Piano di Azione di Buenos Aires" per i dettagli operativi del Protocollo e l'implementazione della Convenzione. Termine delle negoziazioni: COP6 nel 2000.
13-24 Novembre 2000	COP 5, L'Aja. Fallisce l'accordo sul pacchetto di decisioni presentato a seguito del "Piano di Azione di Buenos Aires".
4-6 Aprile 2001	L'IPCC accetta il contributo dei tre Gruppi di Lavoro per il suo terzo rapporto di previsione che pone l'accento sul processo di surriscaldamento della Terra.
16-27 Giugno 2001	COP 6, Bonn. Adozione dell'"Intesa di Bonn". I governi arrivano ad una comune intesa risolvendo le controversie politiche che il Piano di Azione di Buenos Aires aveva creato.
29 Ottobre – 9 Novembre 2001	COP 7 Marrakesh. Adozione degli "Accordi di Marrakesh", serie di decisioni dettagliate che mettono in atto gli accordi dell'Intesa di Bonn.
26 Agosto – 4 Settembre 2002	Summit Mondiale sullo Sviluppo Sostenibile, Joannesburg. Revisione dei progressi avvenuti a seguito dell' Earth Summit di Rio del 1992.
23 Ottobre – 1 Novembre 2002	COP 8 Nuova Delhi, India.
1-12 Dicembre 2003	COP 9 Milano. Si adottano le modalità e procedure per la realizzazione dei progetti CDM di afforestazione e riforestazione.
4-17 Dicembre 2004	COP 10, Buenos Aires. Si adottano le modalità e procedure semplificate per la realizzazione di progetti CDM di afforestazione e riforestazione di piccola scala.
16 Febbraio 2005	Entrata in vigore del Protocollo di Kyoto a seguito della ratifica da parte della Federazione Russa.
28 Novembre-9 Dicembre 2005	COP11 - COP/MOP1 Montreal, Canada. Primo Incontro delle Parti che hanno ratificato il Protocollo di Kyoto. Adozione formale delle regole operative del Protocollo di Kyoto (Accordi di Marrakesh).
6-17 Novembre 2006	COP 12 Nairobi, Kenya
3-14 Dicembre 2007	COP 13 Bali, Indonesia
1-12 Dicembre 2008	COP 14 Poznań, Polonia
7-18 Dicembre 2009	COP 15 Copenhagen, Danimarca
29 Novembre-10 Dicembre 2010	COP 16 Cancun, Messico
28 Novembre 9 Dicembre 2011	COP 17 Durban, Sud Africa

Tab. 1.2 Sintesi degli eventi associati del UNFCCC

1.3 Protocollo di Kyoto

Durante la terza COP tenutasi a Kyoto nel 1997 viene approvato il Protocollo di Kyoto che è entrato in vigore, successivamente, nel 2005. Il Protocollo è lo strumento operativo che vincola legalmente i paesi aderenti a porre limiti alle emissioni complessive dei gas serra del 5,2% rispetto alle emissioni del 1990 per il primo periodo di impegno stabilito nel quinquennio 2008-2012.

Il Protocollo offre ai Paesi che hanno assunto impegni di riduzione la possibilità di servirsi, almeno in parte, di strategie che permettano di immagazzinare il carbonio atmosferico.

L'articolo 2 del protocollo prevede che

“Ogni Parte inclusa nell’Allegato I, nell’adempire agli impegni quantificati di limitazione e di riduzione delle emissioni previsti all’articolo 3, al fine di promuovere lo sviluppo sostenibile:

a) attua e/o elabora politiche e misure, conformemente alle proprie circostanze nazionali, come:

b) protezione ed estensione dei pozzi di assorbimento (sink) dei gas ad effetto serra non inclusi nel Protocollo di Montreal, tenendo conto degli impegni assunti con gli accordi internazionali ambientali; promozione di metodi di gestione forestale sostenibili, di forestazione e di riforestazione;

c) promozione di forme sostenibili di agricoltura che tengano conto delle considerazioni relative ai cambiamenti climatici;”

La normativa internazionale e nazionale per la riduzione dei gas serra ha riconosciuto la variazione d'uso del suolo tra le cause antropiche di emissione/rimozione da parte dei suoli agroforestali di anidride carbonica, principale responsabile dell'effetto serra (Regione Emilia Romagna).

Uno dei principali gas serra è la CO₂. Nel ciclo della CO₂ i suoli e la biomassa vegetale svolgono un ruolo importante in quanto sono in grado di

immagazzinare il carbonio atmosferico e sequestrarlo attraverso la fotosintesi.

Risulta perciò interessante valutare come il sistema suolo-vegetazione può essere impiegato per lo stoccaggio di carbonio e come strumento di abbattimento dell' inquinamento atmosferico.

Le foreste del nostro paese, come quelle di molti paesi europei, possono contribuire a mitigare l'effetto serra ed aiutare a raggiungere gli impegni nazionali di contenimento delle emissioni di gas clima-alteranti, per un duplice motivo:

- essendo state sovra-utilizzate nel recente passato, si trovano oggi al di sotto della fase di equilibrio e, quindi, in un processo di espansione (bilancio positivo tra assorbimenti ed emissioni),
- negli ultimi anni, in Italia come in molti paesi dell'UE, c'è stata una notevole espansione del volume delle nuove piantagioni forestali, grazie agli incentivi finanziari messi a disposizione dalla Commissione Europea (regolamento CEE/2080/92), con l'intento di ridurre le superfici agricole a produzioni in eccedenza e di aumentare il grado di 'naturalità' del territorio.

1.3.1 Protocollo di Kyoto in Italia

L'Italia ha ratificato il Protocollo di Kyoto attraverso la legge del 1 giugno 2002, n. 120, in cui viene illustrato il relativo Piano nazionale per la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra.

L'obiettivo di riduzione per l'Italia è pari al 6,5% rispetto ai livelli del 1990; pertanto, tenendo conto dei dati registrati al 1990, la quantità di emissioni assegnate all'Italia non potrà eccedere nel periodo 2008-2012 il valore di 487,1 Mt CO₂ eq (valore obiettivo per l'Italia) (Ministero dell'ambiente, 2005).

Tale obiettivo risulta abbastanza ambizioso, sia perché l'Italia è caratterizzata da una bassa intensità energetica, sia in funzione del fatto che dal 1990 ad oggi le emissioni italiane di gas serra sono già notevolmente aumentate e, senza l'applicazione di politiche e misure nazionali, sono destinate a crescere ancora. Ai fini di una chiara comprensione dello sforzo di riduzione che l'Italia dovrà effettuare per raggiungere tale obiettivo, basti pensare che lo scenario di emissione "tendenziale" di gas serra al 2010 per l'Italia prevede dei livelli di emissione pari a 579,7 Mt CO₂ eq (Ministero dell'Ambiente,2005) (Tab. 1.3). Questo scenario è stato calcolato tenendo conto solo della legislazione vigente, ossia delle misure politiche già avviate e decise; dunque, rispetto all'obiettivo di Kyoto, si avrebbe un divario effettivo al 2010 di circa 93 Mt CO₂ eq.

Oltre allo scenario tendenziale è stato delineato uno scenario di emissione "di riferimento" in cui si è tenuto conto degli effetti di provvedimenti, programmi e iniziative nei diversi settori già individuati dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio; tali misure potranno consentire una riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra per un valore di 51,8 Mt CO₂ eq/anno nel periodo 2008-2012. Lo scenario di riferimento porterebbe quindi a dei valori di emissione pari a 528,1 Mt CO₂ eq.

Tenendo conto dello scenario di riferimento al 2010, rispetto all'obiettivo di riferimento esiste ancora un divario di circa 41 Mt CO₂ eq. e quindi si rende necessario individuare ulteriori politiche e misure per ridurre i livelli di emissione.

Scenari di emissione e obiettivo di riduzione al 2008-2012 (Mt CO₂ eq.)

Scenario tendenziale: 579,7;

Scenario di riferimento: 528,1;

Obiettivo di emissione: 487,1;

Ulteriore riduzione necessaria per il raggiungimento dell'obiettivo: 41,0 Mt CO₂ eq.

Produttore delle emissioni	1990 (Mt CO₂ eq.)	2000 (Mt CO₂ eq.)	2010 tendenziale (Mt CO₂ eq.)	2010 riferimento (Mt CO₂ eq.)
Industrie energetiche	147,4	160,8	170,4	144,4
Industria manifatturiera e costruzioni	85,5	77,9	80,2	80,2
Trasporti	103,5	124,7	142,2	134,7
Civile (incluso terziario e Pubblica Amministrazione)	70,2	72,1	74,1	68,0
Agricoltura	9,0	9,0	9,6	9,6
Altro (fughe, militari, aziende distribuzione)	9,3	7,8	7,6	7,6
Totale (Mt CO₂ eq.):	424,9	452,3	484,1	444,5

Tab. 1.3 Totali di emissioni di GHG in Mt di CO₂ eq provenienti da produttori che utilizzano fonti energetiche.

1.4 Progetti e casi studio

Al fine di analizzare tutti gli aspetti necessari per esaminare i flussi di carbonio tra il suolo la vegetazione e l'atmosfera di un'area e di utilizzare i metodi più appropriati abbattere la CO₂ per mezzo della vegetazione, sono stati scelti diversi progetti da cui ricavare le linee guida per il lavoro da svolgere.

Già da diversi decenni la comunità scientifica si interessa sulle relazioni biosfera – atmosfera e questo ha favorito il sorgere di numerose iniziative a livello nazionale e internazionale.

Il primo importante progetto a livello internazionale è FLUXNET. Il progetto è stato avviato nel 1997 e prevede la creazione di una rete di stazioni distribuite in tutto il mondo che rilevano dati microclimatici quali le concentrazioni di acqua e di CO₂ (Fig. 1.2). Questo monitoraggio consente di stabilire le quantità di CO₂ che un certo ecosistema emette e assorbe. Un altro studio nell'ambito FLUXNET è il calcolo di quanta CO₂ atmosferica è assorbita per fotosintesi dai differenti ecosistemi terrestri (Baldocchi,1998).

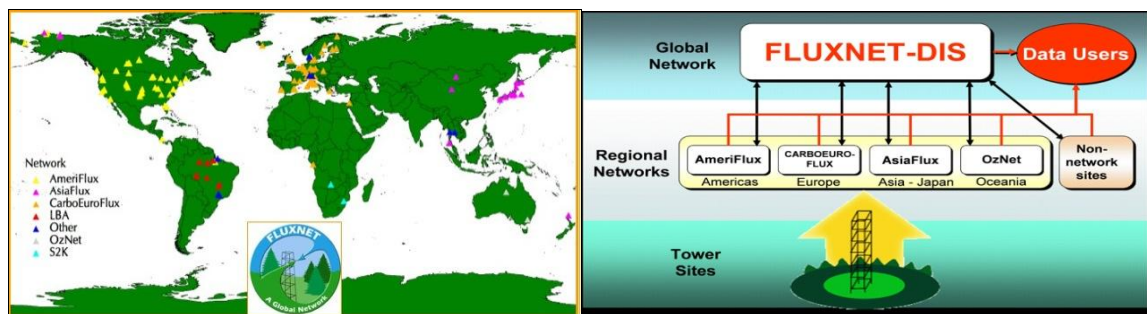


Fig. 1.2. Sx:Distribuzione delle stazioni della rete FLUXNET. Dx:Organizzazione gerarchica della rete di rilevamento. <http://www.fluxnet.com>

In Italia il progetto che si è sviluppato nell'ambito FLUXNET è il CARBOITALY che si propone di quantificare il bilancio del carbonio della vegetazione naturale (in termini tanto di serbatoi quanto di flussi annuali),

di valutare le effettive potenzialità di rimboschimento in Italia, e di individuare politiche agricole e forestali che esaltino il contributo della vegetazione alla riduzione del carbonio atmosferico

Il progetto è stato finanziato nel 2005 con un Fondo Integrativo Speciale per la Ricerca (FISR) dal Ministero delle Finanze, di concerto con il Ministero per l'Università e la Ricerca, il Ministero per le Politiche Agricole e Forestali ed il Ministero per l'Ambiente e il Territorio (Magnani, 2005).

1.5 Ciclo del Carbonio

Il ciclo del carbonio è l'interscambio dinamico attraverso il quale il carbonio viene scambiato tra la geosfera, l'idrosfera, la biosfera e l'atmosfera. Le dinamiche di interscambio sono regolate da processi fisico-chimici, geologici e biologici (Fig.1.3).

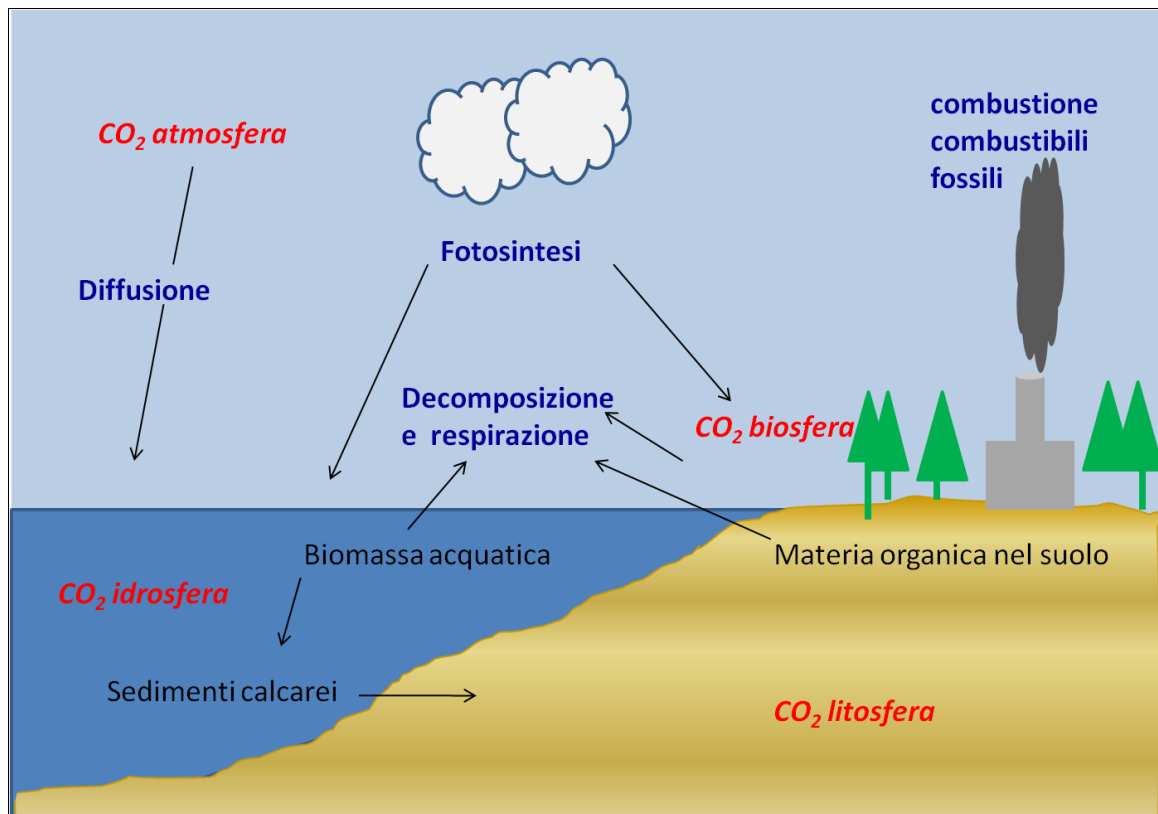


Fig.1.3 Schema generale del Ciclo del Carbonio con particolare riferimento alla CO₂ nei diversi compartimenti ambientali in rosso e ai processi che la coinvolgono, in blu.

Ad ogni ciclo, concetto qualitativo, è associato un Bilancio, concetto quantitativo (Marsili Libelli, 1987). Il bilancio può essere considerato statico o dinamico a seconda della scala temporale di riferimento. Su scala geologica i processi che avvengono sulla Terra sono basati su una riserva costante di massa, mentre su scala biologica o climatica i bilanci statici possono non pareggiare a seconda della rapidità con cui materiale una data quantità di massa si muove tra i vari compartimenti ambientali. Il bilancio

globale del carbonio è il bilancio degli scambi tra le riserve di carbonio nei vari comparti, ciascuno dei quali può essere una sorgente o un produttore di C.

Anche il ciclo del Carbonio opera su due differenti scale temporali coinvolgendo in maniera più o meno diretta i quattro comparti. Sulla scala geologica il carbonio è rilasciato nell'atmosfera e nell'oceano attraverso il degrado di rocce silicee e carbonatiche; il carbonio ritorna poi a questa riserva per deposizione di sedimenti. Sulla scala bioclimatica il carbonio è scambiato tra atmosfera e oceano tramite organismi viventi e in decomposizione. Successivamente la combustione dei combustibili fossili ha alterato significativamente la separazione delle scale temporali stabilendo un legame tra i due cicli (Marsili Libelli, 1987).

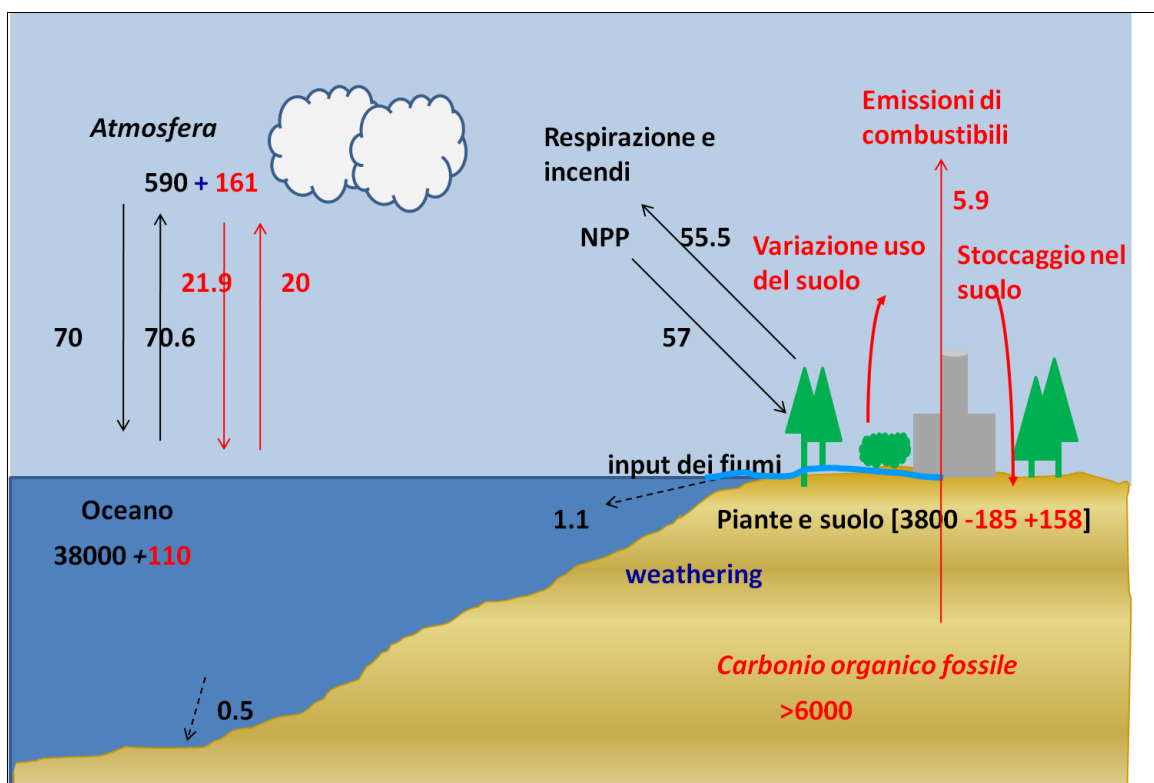


Fig.1.4 Bilancio delle emissioni e stoccaggio di Carbonio in età pre-industriale (frecce nere) e con la perturbazione antropica (Frecce rosse).I flussi di C sono in Pg/a e le riserve in Pg. NPP: Produzione primaria netta Fonte dati Sabine et al, 2004.

Osservando il ciclo del carbonio nelle sue componenti (Fig.1.4) si può notare come le maggiori riserve di questo elemento si trovino nei sedimenti

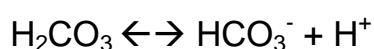
fossili, dove sono contenute circa 40.000 Gt (1 Gt=10⁹ ton) di carbonio, di cui circa 4.000 utilizzabili come combustibili fossili. Gli oceani ne contengono circa 38.000 Gt, pari a circa 51 volte il contenuto dell'atmosfera. Sulle terre il maggiore serbatoio di carbonio è costituito dal suolo, che contiene 1.500 Gt di carbonio organico, mentre solo un terzo di questo ammontare si trova nella biomassa epigea. Nell'atmosfera vi è il serbatoio più ridotto di carbonio, con circa 750 Gt (IPCC 2001).

1.5.1 Ciclo idrologico e ruolo delle acque nel ciclo del Carbonio

La superficie di un corpo d'acqua definisce il limite verso l'atmosfera , attraverso il quale vengono scambiati i gas tramite il processo di diffusione. La diffusione è la tendenza generale delle molecole a muoversi da zone con concentrazioni elevate ad altre con concentrazioni più basse. È tale processo che determina il trasferimento dall'atmosfera alle acque superficiali della CO₂. Il tasso di diffusione è controllato dalla solubilità della CO₂ che è funzione della temperatura, della pressione e della salinità: diminuisce con l'aumento della temperatura, aumenta con l'incremento della pressione atmosferica e diminuisce con l'aumento della salinità. La velocità di diffusione viene limitata dalla viscosità e dalla densità maggiore dell'acqua rispetto a quella atmosferica. La solubilità della CO₂ è molto diversa rispetto a quella di un altro gas importante come l'ossigeno, in quanto una volta assorbita la CO₂ reagisce con l'acqua per formare acido carbonico :



L'acido carbonico si dissocia successivamente in ione bicarbonato e idrogeno:



Lo ione bicarbonato può dissociarsi ancora in ione H⁺ e ione carbonato. Questo sistema chimico è complesso e tende all'equilibrio. Perciò modificando la concentrazione dei reagenti, come CO₂ , l'equilibrio viene disturbato e il sistema si sposterà verso la produzione di CO₂ dove manca o la sua dissoluzione.

Come è facile notare tale sistema porta alla formazione di ioni H⁺ che regolano perciò il pH della soluzione acquosa verso l'acidità o l'alcalinità.

Gli strati superficiali d'acqua assorbono CO₂ dall'atmosfera (spesso giungendo a saturazione), cedendola poi, per rimescolamento, anche agli

strati profondi. Il processo di rimescolamento verticale delle acque però è lento, tranne che in alcuni luoghi particolari, dove correnti superficiali s'inabissano. Al crescere della quantità di questa nell'atmosfera, infatti, ne cresce l'assorbimento da parte delle acque marine. Proprio a tale fenomeno si deve l'assorbimento di una gran parte della CO₂ addizionale introdotta nell'atmosfera negli ultimi due secoli di civiltà industriale.

Questo meccanismo omeostatico naturale, che ha funzionato a meraviglia per milioni di anni, non risulta oggi in grado di "tenere il passo" col rapido accumulo di biossido di carbonio nell'atmosfera, generato dall'uso, sempre più intenso di combustibili fossili (Moiso, 2009).

1.5.2 Suolo e uso del suolo

Il suolo è il terzo più grande serbatoio di Carbonio ed è la pelle viva della terra attraverso cui interagiscono la litosfera, l'idrosfera, l'atmosfera e la biosfera. Riveste un ruolo fondamentale per la vita del nostro pianeta perché oltre a regolare il ciclo del carbonio, regola i cicli dell'acqua, del fosforo e dell'azoto.

Una minaccia riconosciuta anche a livello europeo dal 2002 è la diminuzione del contenuto di materia organica nel suolo (Fig. 1.5).

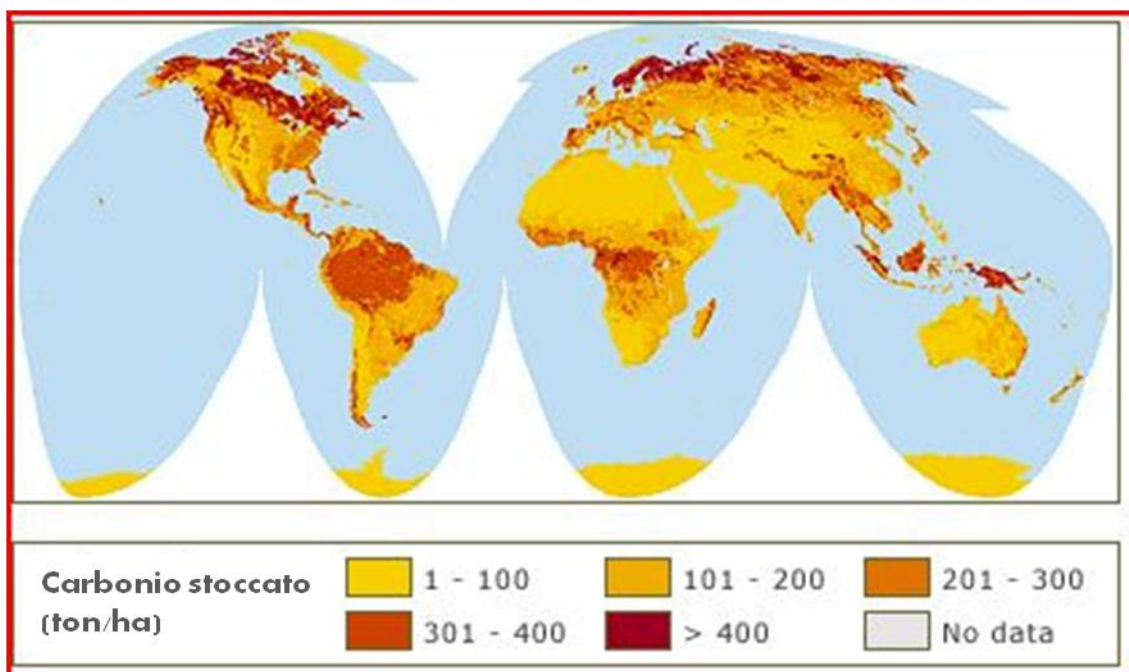


Fig. 1.5 Distribuzione a scala globale del contenuto medio di Carbonio organico nei suoli. Fonte immagine : Rapporto FAO,1995.

Il carbonio organico, che costituisce circa il 60% della sostanza organica presente nei suoli, svolge una funzione positiva essenziale su molte proprietà del suolo e si concentra, in genere, nei primi decimetri del suolo. Favorisce l'aggregazione e la stabilità delle particelle del terreno con l'effetto di ridurre l'erosione, la compattazione, il crepacciamento e la formazione di croste superficiali; si lega in modo efficace con numerose sostanze migliorando la fertilità del suolo e la sua capacità tampone;

migliora l'attività microbica e la disponibilità per le piante di elementi nutritivi come azoto e fosforo (ARPAV, 2006).

È un fattore fondamentale per la resistenza all'erosione, per la fertilità del suolo e per il contrasto all'aumento di CO₂ in atmosfera (ARPA_EMR, 2004). Oltre ad essere un elemento importante, il carbonio è un indicatore della qualità dei suoli. Le concentrazioni minori si ritrovano nelle aree agricole, laddove l'attività intensiva senza apporti di sostanze organiche per mezzo di deiezioni zootecniche o altri ammendanti, e soprattutto in presenza di suoli a tessitura grossolana, porta inevitabilmente ad una progressiva riduzione del carbonio organico del suolo fino ad un limite minimo di equilibrio (ARPAV, 2006). Il contenuto di carbonio è fortemente legato ai cambiamenti d'uso in quanto aumenta al passare da seminativi a colture legnose quindi a prati ed infine a bosco. Ogni anno circa 2 Gt di carbonio sono catturate nella materia organica del suolo contro le 8 Gt di carbonio antropogenico rilasciato in atmosfera (ARPA_EMR, 2004).

Perciò è necessaria una gestione dell'uso del suolo e una revisione nelle tecniche agricole per un miglior immagazzinamento del carbonio nel suolo.

Questo si può ottenere con le seguenti attività:

- Pratiche di conservazione che riducono la perdita di materiale per mezzo dell'erosione.
- Mantenimento dei residui organici per aumentare la copertura e gli importi organici.
- Adottare una coltivazione conservativa , *conservation tillage*, per ridurre la movimentazione del suolo, riducendo il periodo di riposo a maggese e incrementando l'uso di colture di copertura nel ciclo rotazionale. Questo permette di aumentare la struttura del suolo e incrementare la capacità di infiltrazione.

- La crescita di colture di copertura aumentano la biodiversità e la qualità dei residui. Un aumento di biodiversità equivale ad un'alta capacità di assorbimento e immagazzinamento del carbonio.
- Utilizzo di concime organico, *compost*, aumenta la capacità di immagazzinamento.
- Aumento di nutrienti nel suolo equivale ad un aumento di produzione della biomassa.

Se queste pratiche di gestione venissero applicate per diversi anni o decenni la quantità totale di carbonio immagazzinato sarebbe sostanziale anche se il livello di cattura si manterrebbe comunque più basso rispetto a quello emissioni dovute ai cambiamenti climatici e ai fattori antropici.

Queste tecniche di coltivazione che permettono di costruire e conservare il carbonio nel suolo portano alla formazione di suoli ricchi in carbonio che richiedono un minor uso di fertilizzanti chimici.

La sostanza organica è un essenziale componente del suolo perché (ARPA_EMR,2004):

- è fonte di carbonio ed energia per i microorganismi del suolo,
- stabilizza e trattiene insieme particelle di suolo riducendo i fenomeni di erosione,
- conserva e fornisce nutrimenti quali azoto, fosforo e zolfo che sono necessari alla crescita vegetale e dei microorganismi,
- trattiene gli elementi nutritivi grazie alla sua capacità di scambio cationica ed anionica,
- riduce gli effetti negativi sull'ambiente dei fitofarmaci, metalli pesanti e molti altri inquinanti.

1.5.3Biosfera

La biosfera terrestre gioca un ruolo fondamentale nella regolazione dei processi alla base del ciclo del carbonio, dell'effetto serra e della sua evoluzione futura (Gioli et al, 2007).

Fotosintesi

Il processo bio-geochimico fondamentale per la cattura della CO₂ atmosferica e quindi la sua rimozione dal comparto atmosfera, è la fotosintesi.

La reazione che descrive tale processo è la seguente:



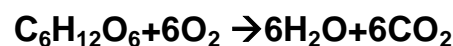
La fotosintesi è un meccanismo di compensazione che prevede lo scambio attraverso la diffusione di biossido di carbonio all'interno della pianta e ossigeno e acqua che si diffondono all'esterno nell'atmosfera per mezzo della traspirazione. L'energia necessaria per questa reazione è l'energia solare.

Nelle piante la fotosintesi avviene nei cloroplasti, che si trovano nelle cellule delle foglie e, sia pure in minor misura, in quelle di tutte le altre parti verdi.

Il tasso di fotosintesi è fortemente dipendente dall'irradiazione solare, dall'umidità e dalla temperatura, ma tali dipendenze seguono un andamento non-lineare (Materia,2004).

Respirazione

Processo opposto alla fotosintesi che avviene a livello mitocondriale delle cellule vegetali e si basa sul consumo di O₂ e produzione di CO₂. La reazione che descrive tale processo è :



I contributi alla respirazione provengono sia dalle cellule delle foglie che dal fusto e dalle radici.

La temperatura, insieme al contenuto idrico del suolo, sono i principali fattori che condizionano la respirazione. Perciò in vista dei cambiamenti climatici e dell'innalzamento della temperatura, i tassi di respirazione

crescono in maniera direttamente proporzionale portando ad un rilascio di CO₂ maggiore dei tassi di stoccaggio (Riondino et al, 2005).

1.6 Ruolo delle foreste

La gestione dei boschi rappresenta la componente di immagazzinamento di carbonio che offre le maggiori opportunità. I mutamenti intervenuti negli ultimi 50 anni sono da imputare alle attività dell'uomo quali agricoltura e foresti coltura.

All'interno del protocollo di Kyoto è prevista come fonte di immagazzinamento e quindi conteggiabile come serbatoio di carbonio la foresta.

Il sistema forestale è formato da due componenti principali:

- Vegetazione erbacea e arborea: il 90% del carbonio immagazzinato nella vegetazione si trova all'interno delle aree boschive ed il rimanente in quella prativa o coltivata a scopi agricoli. Il legno contiene oltre l'85 % del carbonio fissato nella biomassa vegetale.
- Suolo: a livello mondiale il suolo immagazzina all'incirca cinque volte più carbonio rispetto alla vegetazione epigea. Tra tutti i terreni quelli forestali hanno un ruolo predominante contenendo oltre l'85% del carbonio presente sottoterra nel suolo.

Gli obiettivi di riduzione si valutano conteggiando il bilancio netto tra le emissioni di gas-serra attraverso la deforestazione e lo stoccaggio nei serbatoi attraverso riforestazione

1.6.1 Ruolo della vegetazione

Misurare quanta CO₂ viene scambiata tra biosfera ed atmosfera non è semplice. A livello intuitivo si potrebbe pensare che la quantità di carbonio immagazzinata ogni anno da una foresta sia uguale al suo incremento di volume e biomassa (APAT, 2002). Ma la questione è più complessa. Parte del carbonio assimilato con la fotosintesi viene fissato nel suolo attraverso la decomposizione della lettiera ad opera dei microrganismi ed entra a far parte di una serie di processi di degradazione, respirazione e immobilizzazione difficilmente quantificabili. Inoltre la quantità netta di carbonio “immagazzinata” da un ecosistema forestale dipende da tanti fattori legati alle caratteristiche strutturali e morfologiche delle diverse specie (superficie delle foglie, rapporto tra biomassa ipogea ed epigea), alle caratteristiche della foresta (densità, distanza tra gli alberi), alla disponibilità di luce, di acqua e di nutrienti, alle proprietà fisiche e chimiche del terreno, nonché all'andamento climatico. Attualmente non esiste una metodologia unica e universalmente accertata (Zabini, 2008). Negli ultimi anni la ricerca scientifica ha messo a disposizione nuovi strumenti di misura e si è impegnata nel tentativo di standardizzare questo tipo di misure affinché possano servire a quantificare in modo corretto l'attività dei serbatoi (*sink*).

1.6.2 Andamento dell'immagazzinamento del Carbonio.

È noto che la quantità di carbonio fissata nella vegetazione ha un andamento che si può dividere in 4 fasi funzione del tempo e dell'età della pianta (Fig. 1.6).

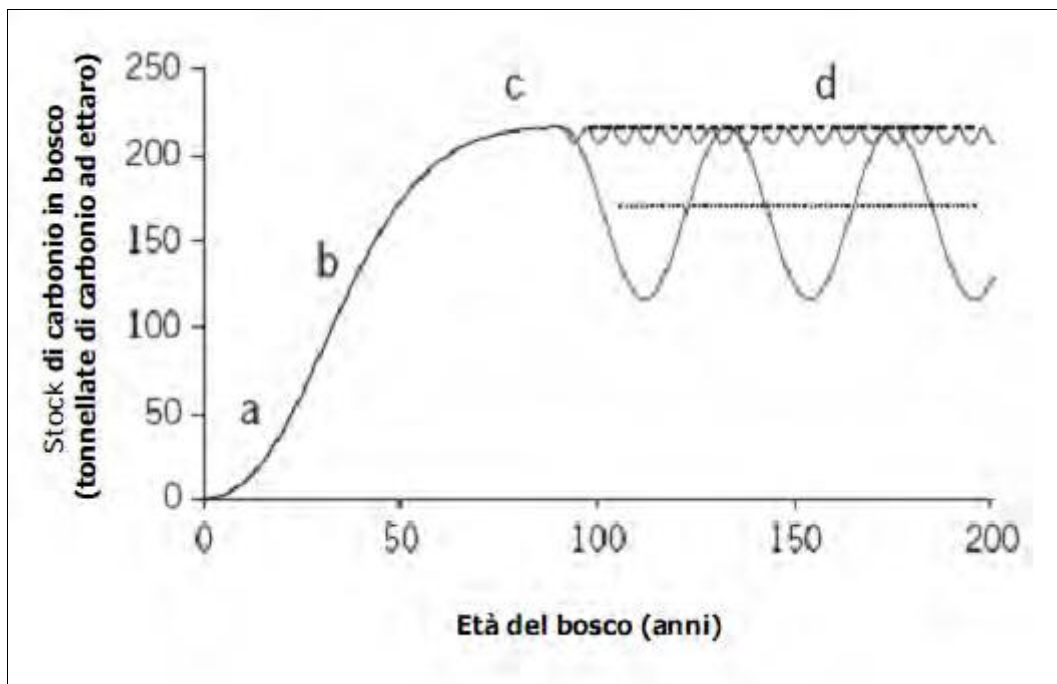


Fig. 1.6 Rappresentazione grafica della variazione del contenuto di carbonio (ton/ha) nel periodo medio di vita di un bosco. Fonte: Osservatorio Foreste INEA, 2008.

Nella figura Fig. 1.6 si possono osservare quattro fasi d'accumulo del carbonio

- a: fase iniziale d'affermazione del soprassuolo;
- b: fase di maggior vigore;
- c: fase matura;
- d: fase d'equilibrio nel lungo periodo.

Osservando l'evoluzione per lungo tempo è evidente che, dopo un aumento del carbonio durante la fase iniziale di sviluppo del soprassuolo, il carbonio non aumenta né diminuisce. Ciò avviene perché l'accumulo di carbonio nella biomassa arborea è bilanciato dalle perdite dello stesso causate da fenomeni di disturbo naturali e dall'ossidazione che si verifica durante i processi di decomposizione del legno degli alberi che man mano muoiono e sono sostituiti da soggetti nuovi.

La quantità sequestrata dipende dalla crescita e dalla mortalità che a loro volta dipendono dalla specie, dall'età, dalla struttura e dal grado di salute di una piantagione (Larcher, 1980). Foreste giovani accumulano CO₂ rapidamente per diversi decenni, prima che l'incremento annuale decresca

(Harmon et al., 1990) mentre le foreste di vecchia crescita o vergini possono rilasciare una quantità di CO₂ derivante dalla decomposizione di biomassa morta, pari alla quantità fissata con la nuova crescita (Crema, 2008).

Le piantagioni in ambiente rurale, grazie alla loro maggiore densità accumulano una quantità di CO₂ per unità di superficie doppia rispetto a quelle in ambito urbano (Birdsey, 1992). Ma considerando la crescita del singolo albero, questa è maggiore in ambito urbano perché dispone di più ampia superficie. Inoltre le piante possono distinguersi per il loro rapido o lento accrescimento, influenzando così la quantità di CO₂ immagazzinata per un periodo medio-lungo (Fig. 1.7)

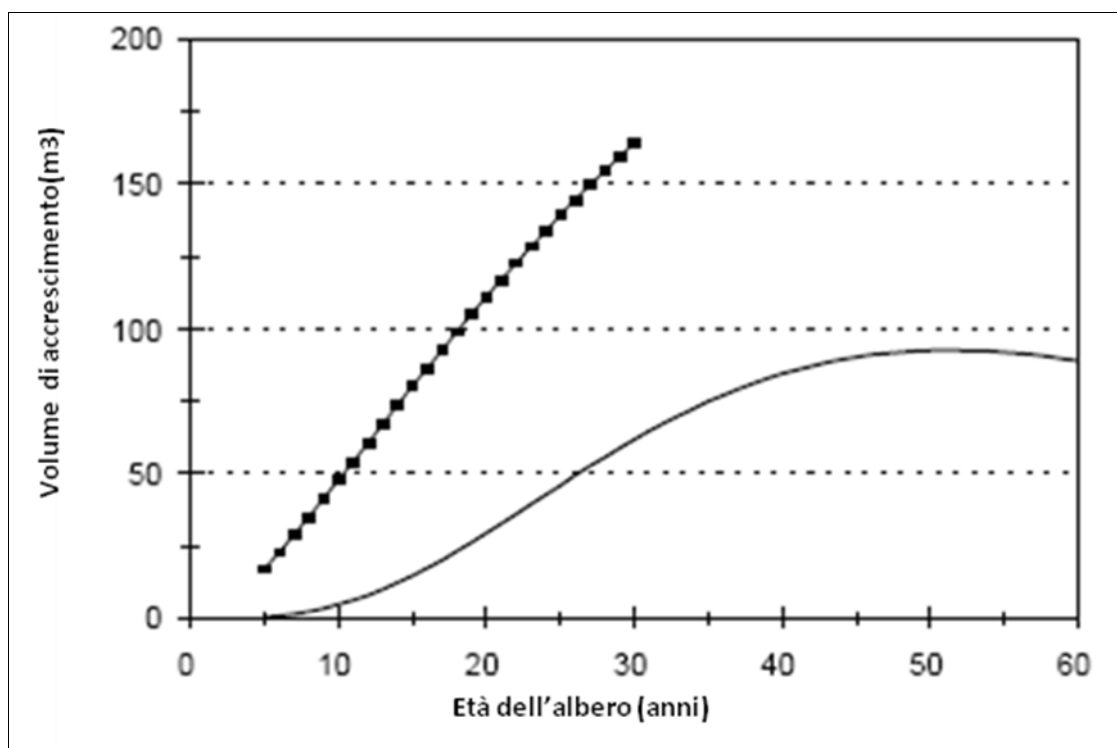


Fig. 1.7. Rappresentazione grafica della relazione tra volume di accrescimento nel tempo di due tipi di piante. Fonte: Osservatorio Foreste INEA, 2008.

1.6.3 Ripartizione della CO₂ accumulata nelle piante

Una volta stimata la quantità di CO₂ accumulata è necessario ripartirla per tutto il volume della pianta. Per un tipico albero in bosco la CO₂ si colloca per il 51% nel tronco, 30% nei rami e per il 3% nelle foglie (Birdsey, 1992).

Le radici accumulano tra il 15-20 % del carbonio totale. Mentre per un albero urbano si stima che nelle foglie si accumula l' 11% data la ridotta competizione con altri alberi (Xiao, 1998).

1.6.4 Linee guida dell' IPCC

Secondo la metodologia IPCC il bilancio di carbonio si ottiene sottraendo le perdite di biomassa (prelievi di legname, incendi) all'incremento della stessa in un dato periodo di tempo. Le stime si basano sulle tecniche impiegate dagli inventari forestali, concepiti e progettati per valutare le provvigioni legnose, ovvero i fusti commerciali. Per calcolare la biomassa totale (che comprende tutte le componenti di una pianta, epigee e ipogee, e non solo i fusti) i volumi di legname sono trasformati in peso e, attraverso dei fattori di conversione, in CO₂. Un approccio "inventariale" richiede un'accurata individuazione dei fattori di conversione ed espansione (BCEF, Biomass Conversion and Expansion Factors) e dei fattori di densità basale del legno (WBD, Wood Basic Density) per ricavare la biomassa complessiva dell'albero a partire dalla biomassa del fusto commerciale. Le norme indicate dall'IPCC per la quantificazione del *carbon sinking* (immagazzinamento di carbonio) costituiscono un punto di riferimento e un parametro di valutazione internazionale, che permette la comparabilità e la condivisione dei dati tra diversi paesi. Ciò nonostante presentano alcuni limiti. Come si è detto, le stime si basano sulle tecniche impiegate dagli inventari forestali. Il problema è che i sistemi utilizzati per gli inventari forestali sono concepiti per misurare il volume dei fusti, e non per misurare in modo diretto la biomassa totale dell'albero. Il ricorso ai fattori di conversione per determinare la biomassa totale presenta varie criticità:

- i fattori di conversione non riescono a considerare la variabilità del territorio e della vegetazione, sono quindi in qualche misura "discrezionali" e arbitrari, o comunque non declinati sulle specificità degli ecosistemi locali;

- dipendono dalle condizioni di crescita delle piante e dalla fase di sviluppo, e quindi difficilmente calcolabili;
- non sono ripetibili con frequenze temporali elevate, quindi non consentono di effettuare e monitorare gli andamenti stagionali né di valutare le conseguenze di possibili cambiamenti di uso del suolo e/o climatici.

L'IPCC individua tre livelli gerarchici (*Tier*) di metodologie cui si può fare riferimento per avere una stima delle emissioni e degli assorbimenti di CO₂. I *Tier* corrispondono a diversi livelli di dettaglio, in relazione alla quantità e qualità di dati e informazioni di cui ogni stato dispone.

1.7 Piani e Programmi di gestione territoriale

1.7.1 Piano Territoriale di coordinamento provinciale

La Provincia di Ravenna è dotata di un Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) adottato il 29.06.1999 e adeguato alla L.R. 20/2000 e approvato dalla Regione il 03.12.2001 (Provincia di Ravenna, 2006).

La Provincia è dotata quindi di uno strumento di pianificazione del proprio territorio alquanto recente ed aggiornato.

La provincia di Ravenna fu la prima in Italia a dotarsi del Piano Territoriale dall'aprile del 1990 prima della stessa approvazione della legge nazionale 142 (Provincia di Ravenna, 2007)

Il PTCP è formato da diverse sezioni:

- Quadro conoscitivo
- Relazione generale del Piano
- Norme di attuazione
- Elaborati grafici
- Valsat

All'interno della Relazione generale del Piano sono presenti due allegati che definiscono le Unità di Paesaggio, Allegato 1, e l'Attuazione delle politiche di piano-azioni e progetti, Allegato 2.

Nell'allegato 2 sono elencate le azioni e i progetti della Sostenibilità. Consultando questo documento è possibile conoscere le iniziative sia in ambito territoriale che economico-sociale che la Provincia intende adottare. Un punto importante per comprendere come la Provincia si sta muovendo in campo di gestione agricola si trova nella sezione *"L'agricoltura: un patto per la modernizzazione" che guarda al nuovo mercato. Costruire politiche finalizzate allo sviluppo e all'ammodernamento del sistema agroalimentare della Provincia di Ravenna"*

Più in dettaglio l'azione che la Provincia intende attuare è descritto dal punto

- 3.1300 “ *Individuare l'agricoltura come strumento di gestione e tutela ambientale- paesaggistica, favorendo il ripristino di siepi, maceri e alberatura*” (Provincia di Ravenna, 2006)

1.7.2 Programma di Sviluppo Rurale 2007-2013

In merito al punto 3.1300 dell'Allegato 2 nella Relazione generale del PTCP è possibile affiancare un altro importante strumento di pianificazione, il Piano Strategico Nazionale (PSN) per lo sviluppo rurale 2007-2013 (Reg. CE n. 1698,2005).

Nel settembre del 2005 il Consiglio dei Ministri dell'Agricoltura dell'Unione Europea ha approvato il Regolamento sul sostegno allo sviluppo rurale da parte del fondo Europeo agricolo per lo sviluppo rurale (FEASR).

Gli obiettivi presenti in tale regolamento sono diversi:

- competitività del settore agricolo e forestale;
- ambiente e spazio naturale;
- qualità della vita nelle zone rurali
- diversificazione delle attività economiche,
- definizione delle priorità di intervento e le misure da adottare.

Nell' ottobre del 2006 la conferenza Stato-Regioni ha approvato il PSN e il riparto dei fondi destinati ai nuovi Programmi regionali.

Il 30 gennaio 2007 l'assemblea legislativa della Regione Emilia Romagna ha predisposto il proprio Programma di Sviluppo Rurale 2007- 2013 (PSR). Tale strumento governa nei sette anni di validità lo sviluppo del sistema agro-alimentare dell'Emilia Romagna. Gli obiettivi di fondo del Programma sono i seguenti:

- sostenere la competitività delle imprese agricole sui mercati,
- tutelare l'ambiente e il territorio a partire dalla montagna,

- diversificare l'attività delle imprese con servizi anche in campo energetico, turistico e ambientale.

Oltre l'80% delle risorse disponibili andrà direttamente agli agricoltori, mentre la parte rimanente andrà a imprese agro-alimentari, cooperative e loro consorzi, enti e istituzioni.

Il nuovo Programma si articola su quattro assi di intervento:

- Asse 1 "competitività del settore agricolo e forestale";
- Asse 2 "miglioramento dell'ambiente e dello spazio rurale";
- Asse 3 "qualità della vita e diversificazione delle zone rurali"
- Asse 4 "Iniziativa comunitaria Leader"

1.7.3 Programma Rurale integrato Provinciale

Una delle principali novità del Piano è rappresentata da un maggior coinvolgimento degli Enti nella definizione delle scelte di sistema locale attraverso la predisposizione del Programma Rurale Integrato Provinciale (PRIP). Tale programma è definito dalle Province in concerto con le Comunità montane e partner locali. Questo documento definisce le priorità tematiche e di area in modo da promuovere interventi integrati per lo sviluppo rurale.

Da sottolineare sono gli interventi dell'Asse 2 che prevede due importanti misure per favorire un' agricoltura sostenibile (PSR, 2007).

La misura 216 azione 3 – Ripristino di spazi naturali e seminaturali e del paesaggio agrario, prevede la necessità di realizzare siepi anche alberate con finalità di fasce tampone per ridurre il fenomeno di trasporto di inquinanti, di lisciviazione dei nitrati e dell'erosione superficiale ed eolica (PSR, 2007).

La misura 221 – rimboschimento dei terreni agricoli. La giustificazione di tale intervento è quella di fornire alle imprese agro-forestali l'opportunità di diversificazione le proprie attività e contribuire al rispetto degli impegni assunti rispetto al Protocollo di Kyoto (PSR, 2007). Tale misura prevede 3 diverse azioni:

- Azione 1 – Boschi Permanenti. Promuovere la costituzione di formazioni forestali a carattere permanente a fini ambientali di protezione del suolo e di attenuazione del cambiamento climatico.
- Azione 2 – Arboricoltura da legno a ciclo medio-lungo con prevalenza di latifoglie di pregio. Promuovere la diversificazione e il minore impatto delle attività agro-forestali.
- Azione 3 – Arboricoltura da legno a ciclo breve - pioppatura eco-compatibile.

1.7.4 Piano forestale Regionale 2007-2013

Nel Novembre del 2006 un altro strumento di pianificazione è stato approvato dalla giunta regionale dell'Emilia Romagna. Tale strumento è il Piano Forestale Regionale (PFR) che ha tra i suoi obiettivi quello di (CIRSA, 2008):

- promuovere la costruzione di siepi, filari, viali ed altri elementi legnosi naturali di corredo agli ambiti culturali.
- favorire la realizzazione di nuovi impianti per finalità ambientali multiple in aree agricole intensive,

Capitolo 2 Area di studio

L'area di studio è coinvolta in diversi progetti che hanno come sede operativa il laboratorio IGRG del CIRSA, Centro interdipartimentale di Ricerca per le Scienze Ambientali, di Ravenna. Il progetto da cui è partita l'idea per questo lavoro è WATERKNOW finanziato da CIRCLEMED ERANET. Il progetto si concentra sullo sviluppo di un sistema di supporto decisionale, *Decision Support System* (DSS), per la gestione delle acque costiere nell'ambito ICZM usando tre aree di studio: Quinto Bacino in Italia, Bacino di Tahadart in Marocco e l'isola di Terceira, Azzorre.

Associati al progetto sono stati svolti diversi studi presso il laboratorio dell'IGRG. Questi studi approfondiscono la conoscenza dell'area e le sue proprietà idrologiche, idrogeologiche, pedologiche e climatiche.

2.1 Area di studio

L'area del Quinto Bacino è compresa tra due corsi d'acqua che hanno origine dalla catena dall'Appennino settentrionale e sfociano nel mar Adriatico; i Fiumi Uniti al nord e a sud il torrente Bevano. Il confine ad est è rappresentato dal Mar Adriatico e ad ovest dal fiume Ronco, un affluente dei Fiumi Uniti. Il principale uso del suolo dell'area di interesse è di tipo seminativo irriguo ma ci sono altri importanti usi come la presenza di due pinete, Pineta Ramazzotti e Pineta di Classe, cave di ghiaia, la spiaggia e le zone umide comprese tra le due pinete (Fig. 2.1)



Fig. 2.1 Area di studio “Quinto Bacino” delimitata in rosso. In dettaglio le due pinete presenti nell’area e i fiumi. Da Google Earth.

L’area di studio ha una superficie di 10.335 ettari. Attualmente il 13,4% dell’area (1388 ha) è al di sotto del livello del mare a causa della subsidenza che rappresenta una delle caratteristiche principali dell’intera zona di Ravenna (Antonellini et al. 2008). I tassi di subsidenza a cui è stata soggetta l’area durante il tardo quaternario sono tra i più alti della regione, compresi tra 0.6 e 1mm/anno (Lambeck et al., 2004; Bitelli et al., 2000). Successivamente, nell’Olocene, a causa della progressiva compattazione dei sedimenti alluvionali il tasso di subsidenza naturale è aumentato a 1-2mm/anno.

In epoca storica alla subsidenza naturale si è aggiunta quella antropica indotta dalla bonifica del territorio e dall’estrazione di metano (Marconi, 2011). E’ importante sottolineare come negli ultimi 35 anni l’altitudine nelle aree più subsidenti si è ridotta di ben 1.5 m (Teatini et al., 2006). Un’altra conseguenza della subsidenza indotta dall’estrazione di idrocarburi è la risalita del livello della falda rispetto alla superficie topografica. Questo

fenomeno ha reso necessario il drenaggio meccanico della falda freatica in tutta la porzione costiera della provincia di Ravenna (Marconi, 2011).

Fattori sia naturali che antropici condizionano un altro importante processo, quello della salinizzazione delle acque superficiali e sotterranee. Questi fattori sono (Marconi, 2011):

- l'elevata pressione antropica a cui è soggetta l'intera regione della pianura Padana, da cui conseguono le profonde modifiche subite dal territorio e dai processi naturali.
- la progressiva perdita di topografia della fascia costiera, causata dal *trend* di subsidenza (0.6-1 mm/a), dai processi di erosione costiera e dalla crescente urbanizzazione.
- la complessa storia geologica recente, caratterizzata dalle oscillazioni della linea di costa (linee i-m in Figura 2.1), da cui deriva la tipica alternanza di sedimenti sabbiosi (acquiferi) e pelitico/organici

La profondità della superficie freatica nell'acquifero dell'area di studio è generalmente inferiore a quella del livello marino sia in estate che durante la stagione invernale (Marconi, 2011). Di conseguenza il tetto dell'acquifero è costituito da acque salmastre per quasi tutto il periodo dell'anno (Marconi, 2011). Le aree caratterizzate dalla presenza di acque più saline sono in corrispondenza di corpi d'acqua superficiali direttamente in contatto con la falda. Nella parte settentrionale della pineta costiera Ramazzotti l'acquifero presenta il tasso di salinità più alto mai misurato in zona.

Nell'area di studio l'acqua dolce è presente nella porzione centro-occidentale della pineta costiera e nella zona agricola adiacente (Fig. 2.2) dove la salinità dell'acquifero è costantemente inferiore a 2 g/l (Marconi, 2011).

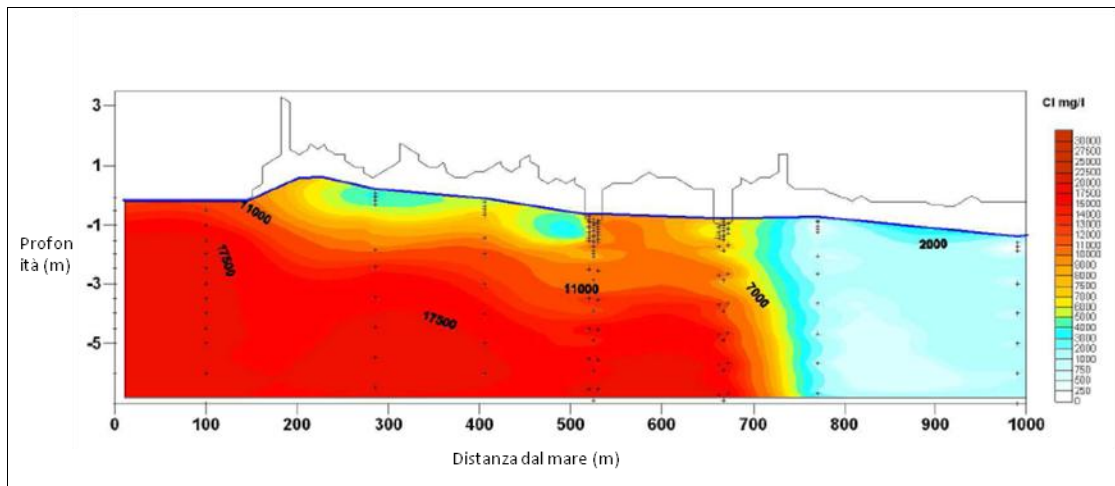


Fig. 2.2 concentrazione di Cloro in mg/l nelle acque di falda all'interno dell'area di studio. Fonte: Marconi, 2011.

Queste diverse caratteristiche chimico-fisiche influenzano la distribuzione delle specie vegetali nell'area di studio. La salinità del suolo e delle acque fa sì che nell'area di studio le piante che possono sopravvivere sono piante alofite, molto tolleranti al sale, piante tolleranti alla salinità del suolo e acqua, piante poco tolleranti e piante per niente tolleranti. In generale una variazione della salinità ha effetti diretti e indiretti sulla vegetazione come per esempio una diminuzione della ricchezza delle piante e un aumento della mortalità (Antonellini e Mollema 2010).

2.1.1Clima

Il clima del Quinto Bacino è di tipo Mediterraneo, caratterizzato da estati calde e secche ed inverni miti e piovosi.

Le temperature medie annuali sono relativamente elevate, 13°C, e vanno da una media estiva di 22.4 °C a una media invernale di 4.4 °C (Fig. 2.3) (Marconi, 2011).

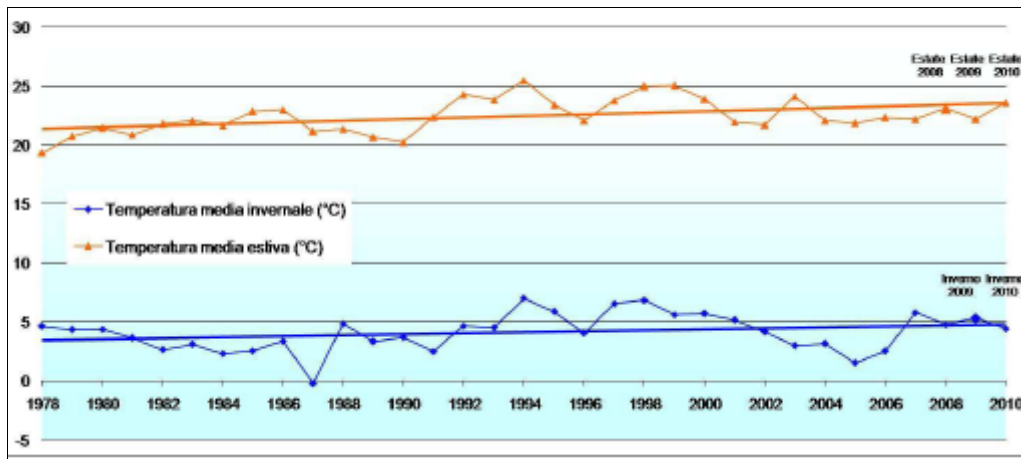


Fig. 2.3 grafico della temperatura media invernale ed estiva nel periodo tra 1978-2007. Fonte: Marconi, 2011.

Le precipitazioni sono moderate, in media 618 mm/a e presentano un andamento piuttosto irregolare negli ultimi 40 anni (Marconi,2011). Gli inverni sono aridi in quanto le precipitazioni sono inferiori a quelle estive anche se dal monitoraggio nell'area di studio compiuto dal laboratorio IGRG del CIRSA, negli anni 2008-2010, ha mostrato un aumento delle precipitazioni durante le stagioni invernali e una lieve diminuzione durante quelle estive. Il monitoraggio dei parametri meteorologici è stata possibile tramite l'istallazione di una stazione meteo presso la pineta costiera (Fig. 2.4).

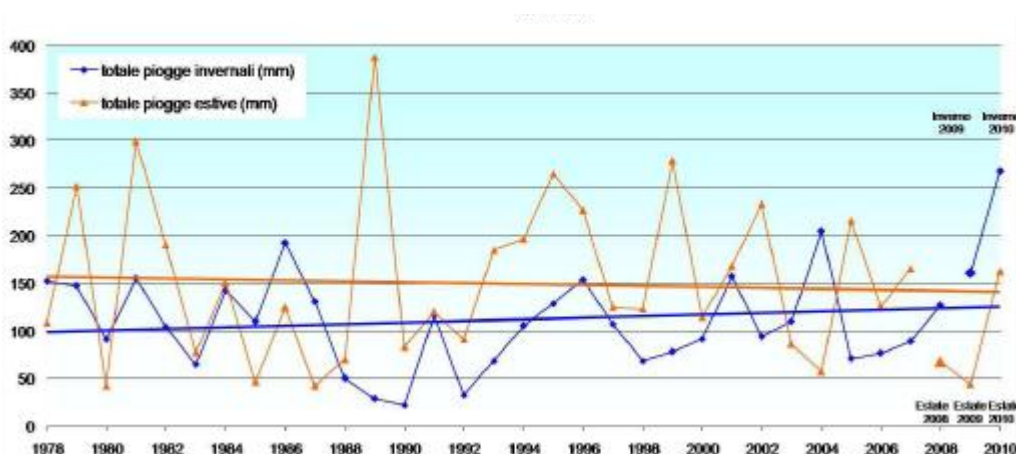


Fig. 2.4 Grafico delle precipitazioni totali nel periodo 1978-2007. Fonte: Marconi, 2011.

Mettendo in relazione i dati di temperatura e precipitazioni medie mensili si può definire il bilancio idrologico medio mensile. Questo, come raffigurato in Fig. 2.5, mostra come l'area risulti in deficit idrico per gran parte dell'anno. La temperatura influenza il tasso di evapotraspirazione (ETR) del suolo che durante i mesi da Aprile a Settembre eccede la quantità di acque provenienti dalle precipitazioni (Marconi, 2011).

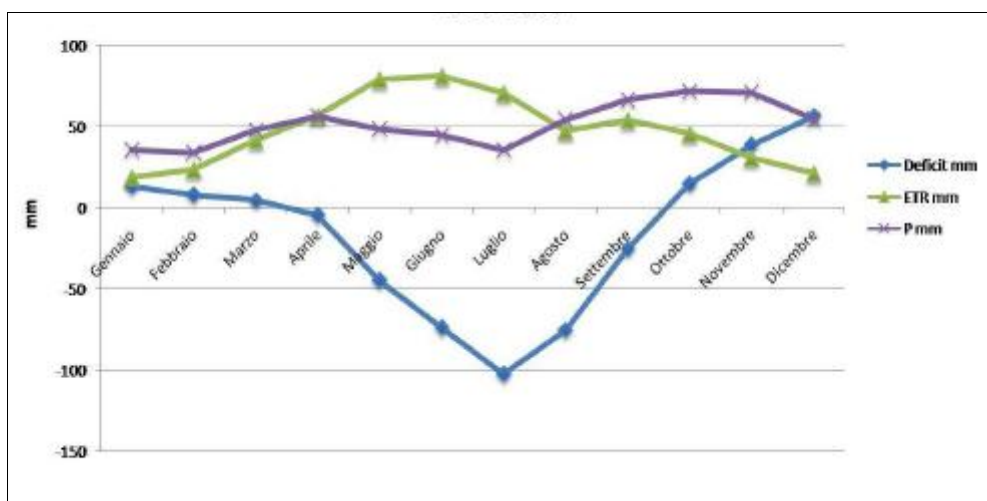


Fig. 2.5 Grafico del bilancio idrico mensile nel periodo 1978-2007. Fonte: Marconi, 2011.

Per far fronte alla richiesta idrica delle coltivazioni, durante l'estate l'acqua utilizzata per l'irrigazione proviene dal Canale Emiliano Romagnolo (CER) che garantisce la disponibilità idrica dell'intera area romagnola, oltre che alle province di Ferrara e Bologna.

Dato il sistema di irrigazione e quello di drenaggio meccanico, il calcolo dell'intero budget idrico e l'individuazione del ciclo idrologico associato può essere complicato (Mollema et al, 2011).

2.1.2Cave

L'area costiera e di bassa pianura della provincia di Ravenna è per la sua struttura geomorfologica di formazione alluvionale da tempo assai sfruttata per l'estrazione di materiali inerti. Nell'area di studio sono presenti 4 cave (Fig. 2.6):

- Cava “Le Basse”
- Cava “La Standiana”
- Cava “La Bosca”
- Cava “Cà Bianca”

Data la superficialità del livello di falda le cave risultano in gran parte allagate e concorrono a formare una rete di zone umide di piccole e medie dimensioni che già durante la fase di sfruttamento possono rappresentare un luogo di sosta e nidificazione per varie specie di uccelli (Emiliani e Volponi,1994).

I laghi di cava nel bilancio del ciclo del carbonio si comportano come serbatoi per la CO₂ atmosferica analogamente a laghi isolati, cioè non ricaricati da corsi d'acqua superficiali ma solo da precipitazioni.



Fig. 2.6. Distribuzione delle quattro cave e relativi laghi nell'area del Quinto bacino. In dettaglio sono riportate due immagini delle cave "Ca Bianca" a sx e "La Standiana" a dx.

2.1.3 Ambienti naturali: Pinete e zone umide

All'interno dell'area di studio sono presenti due siti che appartengono alla "Rete Natura 2000" che sono sia d'importanza comunitaria che zone a protezione speciale, SIC-ZPS.

Queste aree sono :

- IT4070009 SIC-ZPS, "Ortazzo, Ortazzino, foce del Torrente Bevano"
- IT4070010 SIC- ZPS, "Pineta di Classe"

Per il sito "Ortazzo, Ortazzino, foce del torrente Bevano" l'unica area esclusa del Quinto Bacino è l'area a sud della foce. Questo sito si estende su una superficie di circa 1250 ettari e comprende l'area della Pineta Ramazzotti a nord del Bevano, le zone umide Ortazzo e Ortazzino a ovest del torrente (Fig. 2.7).



Fig. 2.7. Estensione del sito SIC-ZPS "Ortazzo , Ortazzino foce del torrente Bevano". Fonte: Regione Emilia Romagna.

La Pineta Ramazzotti è una delle sette sezioni della pineta demaniale di Ravenna che risale al 1881 quando cominciarono i lavori di rimboschimento con Pino marittimo (Fig. 2.8). La Pineta Ramazzotti è stata creata lungo la fascia costiera compresa tra i due fiumi con lo scopo di proteggere le colture interne dai venti marini. Questa pineta artificiale è stata sovrapposta alla vegetazione arbustiva tipica della zona caratterizzata da dune consolidate (AA.VV, 2009).

Questo sito costituisce uno degli ambienti più naturali e di maggiore valore naturalistico della provincia e dell'intero litorale adriatico. La foce naturale meandriforme del torrente Bevano si immette nel mare Adriatico tra dune costiere e barre sabbiose, oltrepassando un ambiente vario formato dai meandri abbandonati sottoposti all'azione delle maree, da praterie umide

salmastre in cui affiora la falda marina freatica e da macchia mediterranea. La foce negli ultimi anni sta progredendo verso Nord ed erode le dune esistenti e sarà oggetto di un intervento di sistemazione che riporterà la bocca nella posizione di circa 10 anni fa, senza irrigidire la foce (Provincia di Ravenna, 2009). Lungo il litorale, da Lido di Dante a Lido di Classe, si estende un lungo cordone di dune costiere attive e di dune fossili con arbusteti costieri, che costituiscono un complesso unico a livello del mare adriatico (Fig. 2.9 e Fig. 2.10).



Fig. 2.8 Pineta Ramazzotti, Lido di Dante.



Fig. 2.9. Foto realizzata tra la foce dei fiumi Uniti e Pineta Ramazzotti.



Fig. 2.10. Vegetazione sulle dune di Lido di Dante.

L'Ortazzo è una palude salmastra formata da un insieme di bacini allagati per effetto dell'affioramento della falda marina e per l'immissione di acque dal canale Bevanella e dal Fosso Ghiaia

La pineta di Classe, in Fig. 2.11 e Fig. 2.12, è un'ampia pineta di origine artificiale e risalente all'epoca imperiale romana che si trova a sud di Ravenna, vicino alla sua frazione di Classe e alle località di Fosso Ghiaia e Savio. È delimitata a nord dalla Via della Sacca, che conduce alla foce del Fiume Bevano e a sud dal Bevano stesso. E' limitrofa alla Valle dell' Ortazzo. Ha un'estensione di 900 ettari e vede la presenza di diverse varietà botaniche come il leccio, la farnia, il carpino e ovviamente il pino. Interessanti sono le forme vegetali nei pressi delle radure e delle zone allagate. La fauna tuttavia si è ridotta molto negli ultimi decenni a causa della dannosa presenza dell'uomo, infatti, nonostante sia area protetta e faccia parte del Parco del Delta, vi è permessa la caccia (Provincia di Ravenna, 2009).



Fig. 2.11 Estensione del sito SIC-ZPS "Pineta di Classe". Fonte: Regione Emilia Romagna.



Fig. 2.12. Pineta di Classe.

2.1.4 Suolo

Grazie alla realizzazione dei database che raccolgono quantità di informazioni riguardanti gli aspetti ambientali, una prima caratterizzazione dei suoli all'interno dell'area di studio è stata possibile per mezzo del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della regione Emilia Romagna che ha messo a disposizione un sito della cartografia dei suoli dell'Emilia Romagna. Si può fare una prima suddivisione dell'area in zona prevalentemente sabbiosa che si estende dalla costa fino alle pineta interna, suolo CERBA, mentre nell'area destinata all'uso seminativo si ritrova un suolo di tipo argilloso-limoso conosciuto come RISAIA DEL DUCA e le aree coperte da frutteti si sviluppano su un suolo franco limoso detto SANT'OMOBONO.

Esistono comunque maggiori divisioni interne alle tre aree identificate dove si possono trovare: nell'area costiera e di pineta tipi di suolo come

MARCABO' SAVIO di tipo franco-limoso e SAN VITALE tipico della pineta con tessitura sabbiosa fine.

Nella zona più interna, immersa nelle aree agricole, si ritrovano suoli di tipo PRADONI, franco argilloso limoso (Fig. 2.13).

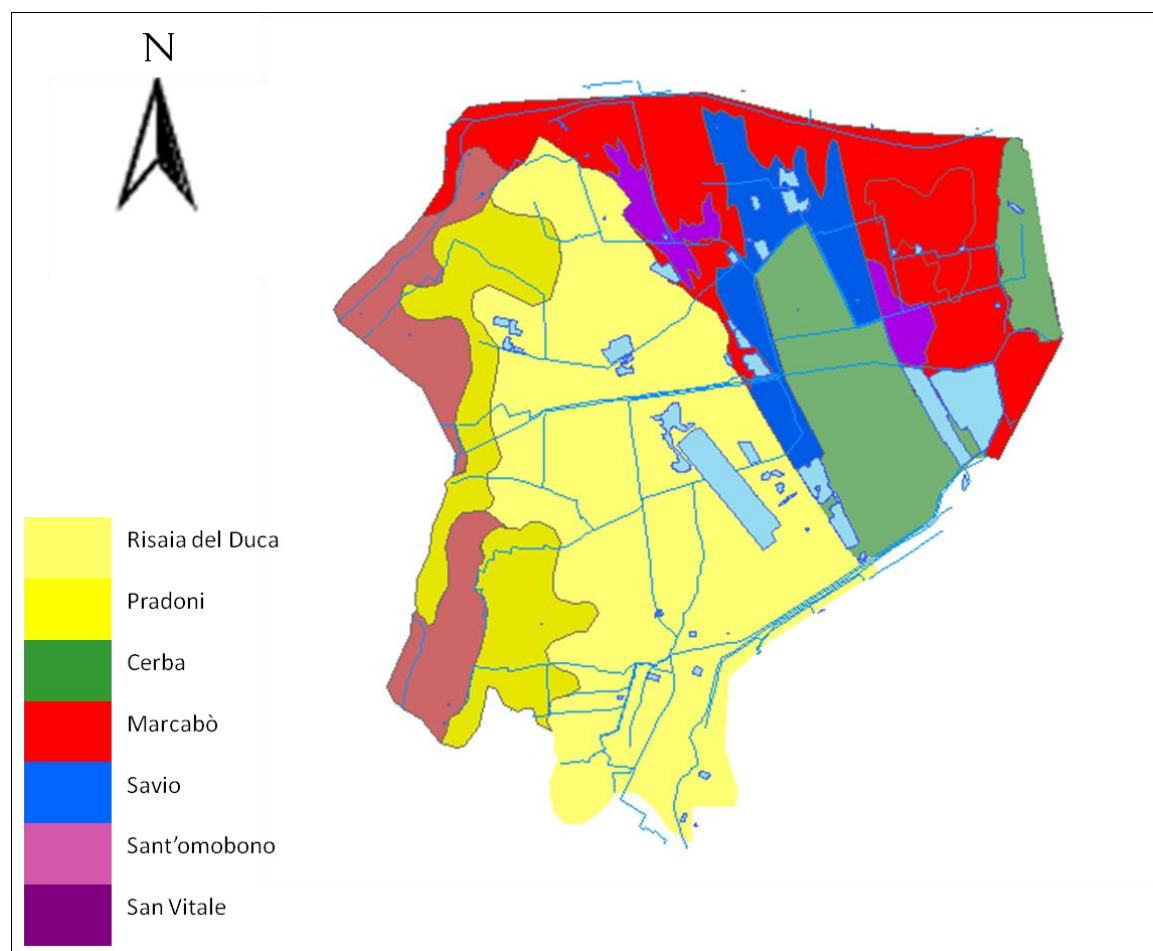


Fig. 2.13. Carta della distribuzione dei tipi di suolo nell'area di studio realizzata con ArgGis 9.3.

Dalla consultazione della carta dei suoli del sito della Regione Emilia Romagna si può comprendere più in dettaglio la formazione e le caratteristiche di ogni tipo di suolo presente nell'area di studio.

Per una migliore caratterizzazione pedologica, ho raccolto le varie proprietà per ogni tipo di suolo presente nell' area di studio. Oltre alla composizione chimica e fisica (% granulometria, % di sostanza organica, % calcare totale) ho raccolto informazioni sulla qualità agronomica, le limitazioni alle colture e alla forestazione per ogni pedotipo (Tab. 2.1).

Tipo di suolo	Composizione fisica profondità 0- 60 cm			% Sostanza organica	% calcare totale	Uso agricolo: colture principali	Limitazioni alla crescita forestale e / o fruttivicultura
	% sabbia	% argilla	% limo				
CERBA	86	8	6	0.8	7	vegetazione naturale	boschi a prevalenza di pino domestico e leccio
MARCABO'	20	28	52	2.3	25	varietà a ciclo medio o breve -mais, di soia, varietà di bietole	severe limitazioni per la crescita delle principali specie forestali: pH e salinità
PRADONI	3	33	64	2.4	17	L'uso agricolo del suolo è a seminativo semplice con subordinate colture arboree (soprattutto vigneto).	alcune limitazioni per la crescita delle principali specie forestali noce, ciliegio, frassino maggiore; - quando la tessitura è moderatamente fine viene limitata severamente la crescita di pino marittimo e pino domestico e moderatamente la crescita dei cloni di pioppo. fenomeni di ristagno superficiale; tessitura è moderatamente fine
RISAIA DEL DUCA	4	60	36	2.7	13	Barbabietole, frumento e erba medica.	problematico trovare le condizioni ottimali per effettuare le lavorazioni principali Da moderate a severe limitazioni per la crescita delle principali specie forestali
SAN VITALE	95	0	5	0.7	14	scarsa fertilità naturale ed il rilevante rischio di deficit idrico per buona parte della stagione vegetativa sono i principali fattori limitanti la crescita delle colture agrarie	prevalenza di tipo forestale, con macchie a leccio, pino domestico, pino marittimo e acero campestre e pinete; subordinatamente seminativi.
SANT'OMOBONO	6	22	72	2.9	19	L'uso agricolo del suolo è a seminativo semplice,. Colture erbacee e limitati vigneto e frutteto per alta % di calcare attivo	non presentano limitazioni rilevanti per la crescita delle principali specie forestali utilizzabili; ottimali per l'arboricoltura da legno
SAVIO	31	17	51	1.7	24	L'uso agricolo prevalente è a seminativo e frutteto	severe limitazioni per la crescita delle principali specie forestali: ciliegio, noce, rovere, e tigli spp, pino marittimo

Tab. 2.1 descrizione delle caratteristiche dei tipi di suolo presenti nell'area di studio. Fonte Regione Emilia Romagna Ermes agricoltura : <http://www.suolo.it>

2.2 Uso del suolo attuale nell'area di studio

L'area del Quinto Bacino si estende su una superficie di 10355 ettari e comprende diversi usi di suolo.

Nel 71% dell'area si ritrovano suoli ad uso agricolo con distinzione tra seminativi semplici e colture permanenti quali frutteti, il 11 % è ricoperto da area di bosco rappresentata dalle pinete di Classe e Ramazzotti, 9% da zone urbanizzate a tessuto discontinuo e aree estrattive sia attive che inattive di ghiaia e per il 9% da bacini d'acqua libera e zone umide (Mollema et al., 2011) (Fig. 2.14).

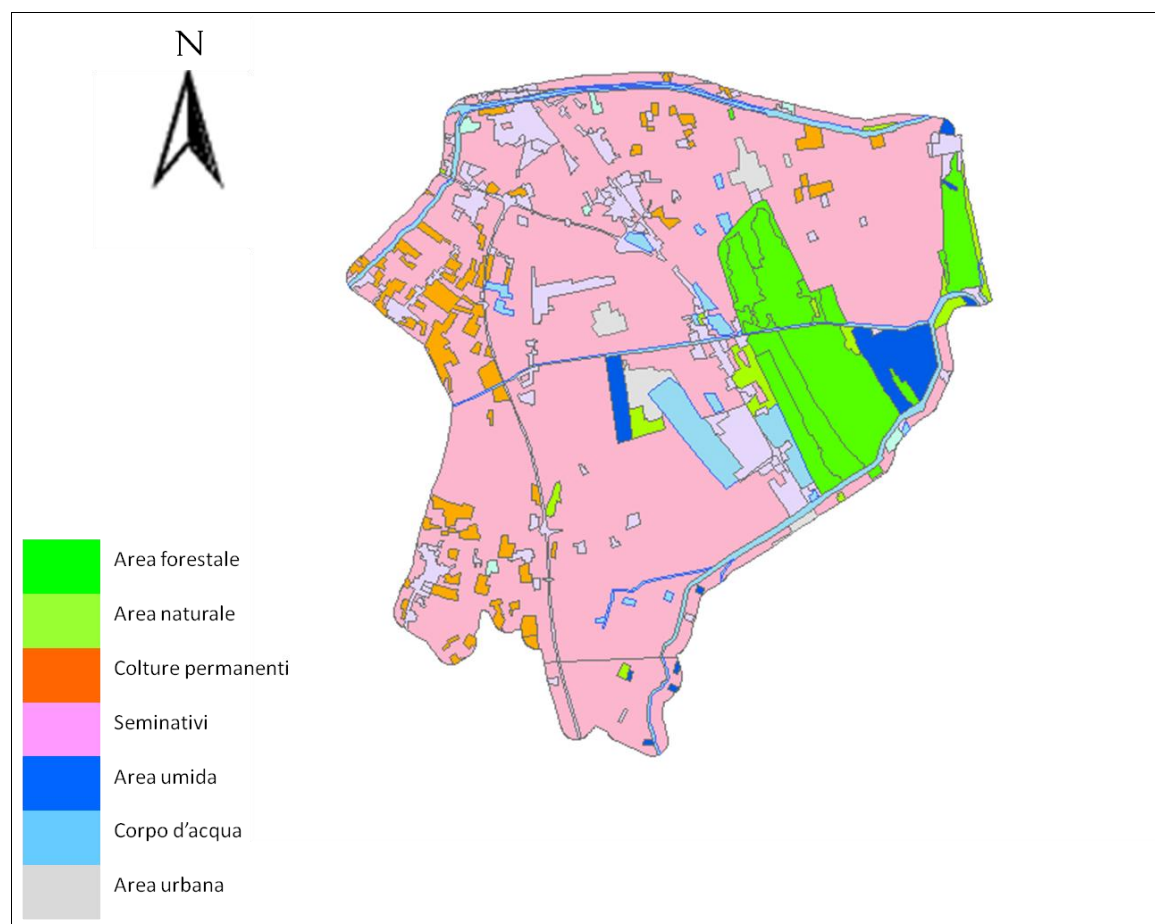


Fig. 2.14. Carta dell'uso del suolo dell'area di studio realizzata con ArgGis 9.3.

Le colture presenti nelle aree agricole si dividono in aree seminatrici quali mais, grano e frumento, erba medica e in colture permanenti come vigneti e frutteti.

Le aree di bosco sono rappresentate dalle pinete e da ambienti con vegetazione arbustiva come cespuglieti, arbusteti e aree a vegetazione arbustiva e arborea in evoluzione, in prossimità delle pinete e aree rinaturalizzate.

2.3 Uso del suolo futuro: Scenari IPCC

La prospettiva di immagazzinamento della CO₂ nelle piante e nel suolo deve essere a lungo termine. Perciò è necessario prevedere anche come l'uso del suolo cambierà per poter pianificare il lavoro di riforestazione dell'area.

Gli scenari proposti dall'IPCC nel Report "*Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*" si basano sulla previsione di cambiamenti di:

- fattori socio economici;
- uso e copertura del suolo;
- fattori ambientali come la concentrazione di CO₂;
- clima;
- livello del mare.

Gli scenari sono divisi in quattro "famiglie di scenario" che sono descritte nella tabella seguente Tab. 2.2

"Famiglia scenario"	Descrizione
A1	<ul style="list-style-type: none"> • Crescita economica molto rapida ; • picco di crescita demografica fino al 2050 per poi diminuire; • rapida introduzione di nuove tecnologie alternative <p>All'interno si individuano tre "gruppi di scenario" che descrivono le il grado di variazione tecnologica nel sistema energetico: fossile intensivo (A1FI), sorgenti di energia non fossile (A1T), and a bilancio tra sorgenti (A1B).</p>
A2	<ul style="list-style-type: none"> • Alto tasso di crescita demografica • Sviluppo economico e tecnologico costante • Maggior frammentazione socio- economico e culturale a livello regionale.
B1	<ul style="list-style-type: none"> • Rapido cambiamento nelle sfera economica, • introduzione alle tecnologie pulite • molte azioni a livello globale in campo economico, sociale e ambientale
B2	<ul style="list-style-type: none"> • Soluzioni a livello locale in campo economico, sociale e ambientale • Continua crescita demografica ma minore rispetto allo scenario A2 • Sviluppo economico medio e minore anche nei cambiamenti tecnologici • Scenario rivolto ad una maggior protezione ambientale e sociale a livello locale e regionale.

Tab. 2.2 Descrizione delle famiglie scenario proposte dall' IPCC. Fonte: IPCC Report, 2001.

Per questo lavoro ho considerato gli scenari di cambiamento di uso e copertura del suolo del gruppo A1B e della famiglia A2 elaborati da Antonellini et al. (2011).

Sia per A1b che per A2 sono previste due alternative di cambiamento d'uso del suolo possibile (Antonellini et al., 2011):

- Green Planning: alta crescita percentuale di uso del suolo per colture forestali rispetto alle altre classi d'uso.
- Grey Planning: crescita percentuale di uso del suolo urbano per attività economiche.

2.4 Colture e vegetazione nell'area di studio

Nonostante sia appena terminato il censimento dell'agricoltura, Dicembre 2010, l'elenco delle colture presenti nell'area di studio è stato ricavato dal censimento del 2000 disponibile presso la Provincia di Ravenna. La Provincia di Ravenna si connota storicamente per il forte peso delle colture legnose agrarie (vite e fruttiferi) sul totale della Superficie Agricola Utilizzata (SAU), (PRIP Ravenna, 2007).

Le zone agricole del territorio ravennate possono essere suddivise in base alla loro natura, localizzazione e vocazione, in quattro sub-aree (Comune di Ravenna, 2011):

- zone agricole della fascia costiera,
- zone agricole di salvaguardia del paesaggio agrario,
- zone agricole delle aree di recente bonifica,
- zone agricole di salvaguardia dei centri abitati.

Queste quattro sub-aree si riconoscono tutte insieme nell'area del Quinto Bacino.

L'individuazione delle principali specie vegetali e colture nell'area di studio è stata fatta sia direttamente, durante le uscite in campo per i campionamenti dei suoli e delle acque, sia indirettamente attraverso la consultazione dei siti del comune e della Provincia di Ravenna e di altri lavori svolti all'interno del laboratorio IGRG.

Le principali colture erbacee presenti sono (Fig. 2.15):

- Cereali: frumento tenero e duro, sorgo, mais.
- Industriali: Barbabietola, soia, girasole.
- Orticole: patate, pisello, fava, pomodoro.
- Foraggere : erba medica.



Fig. 2.15 Foto relative a due campi a coltivazione di cereali a sx e pomodori, a dx nella zona di Classe.

Mentre le principali colture arboree sono (Fig. 2.16):

- Vite,
- Pesco,
- Melo,
- Pero.



Fig. 2.16. Foto delle principali colture arboree realizzate in diverse località nell'area di studio

Le specie vegetali più comuni all'interno dell'area sono quelle che costituiscono le pinete. Oltre al Pino marittimo e al Pino domestico, si

ritrovano querceti termofili dominati dal Leccio o da Roverella, Farnia, Carpino bianco e orientale (<http://www.parcodeltapo.it>).

Nelle aree agricole e attorno alle aziende o nei centri abitati si possono riconoscere (Fig. 2.17):

- Noci,
- Olmo Spp,
- Ciliegi,
- Ontano,
- Acero Campestre,
- Frassino Spp,
- Carpino,
- Salice Spp,



Fig. 2.17 Foto di campi circondati con le specie principali di alberi dell'area di studio.

Queste specie risultano essere anche quelle che negli ultimi dieci anni sono state utilizzate per le diverse azioni di rimboschimento compiute nell'intero territorio comunale di Ravenna (Fig. 2.18). I dati mi sono stati forniti dall'ufficio Agricoltura della Provincia di Ravenna.



Fig. 2.18. Aree soggette a rimboschimento nella zona nord dell'area di studio.

2.5 Fonti di emissioni di CO₂ nell'area di studio: Traffico veicolare

L'area di studio è caratterizzata da una rete stradale molto importante sia a livello provinciale, regionale che statale. La presenza di un'arteria stradale sviluppata e molto trafficata ci permette di considerare come fonte primaria di CO₂ il traffico veicolare. L'analisi dell'uso del suolo mostra inoltre come l'agricoltura deve essere considerata come una sorgente di CO₂. Infine, come sorgente mobile interna, c'è anche la rete ferroviaria con la linea che collega la città di Ravenna con Classe e i lidi sud, Lido di Classe, Savio e Cervia.

Per il traffico veicolare è necessario considerare la diversa tipologia di veicoli che viaggiano per le strade urbane ed extraurbane e individuarne la percentuale di responsabilità per ogni tipo di veicolo (Fig. 2.19), (RER,2010).

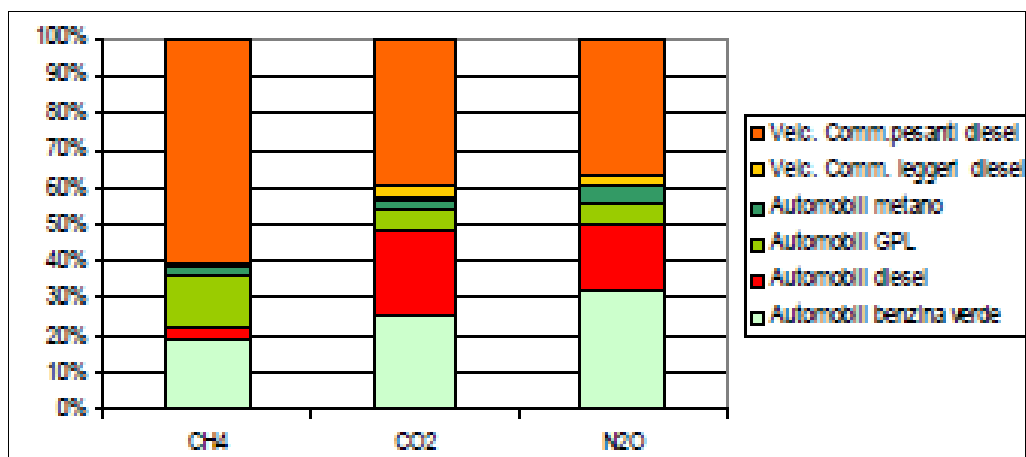


Fig. 2.19 Incidenza percentuale di emissione per tipologia di veicolo, (RER, 2010).

L' emissione di CO₂ è un fenomeno a larga scala, regionale, perciò un calcolo della concentrazione presente nell'aria non è né facile né circoscrittibile. Non è facile in quanto lungo il territorio regionale non sono presenti torri di rilevamento dei flussi di CO₂ e di altri GHG (vedi paragrafo EUROFLUX) che misurano direttamente in atmosfera. Inoltre, per natura, calcolare la concentrazione di un gas prevede un gran numero di variabili da considerare, come l'influenza delle aree limitrofe che possono produrre più o meno CO₂.

Per la nostra stima si dovrebbe considerare a nord del Quinto Bacino la presenza della città di Ravenna e del polo industriale, del porto, mentre a ovest l'autostrada Adriatica.

Dalla letteratura si possono ottenere diversi calcoli sulle emissioni di CO₂ legate al traffico veicolare. Per avere una stima approssimativa si prende in considerazione la quantità di inquinanti emessi in un anno nella Provincia di Ravenna. Questi dati provengono dall'INEMAR, l'INventario delle Emissioni in ARia, realizzato dalla Regione Lombardia con la collaborazione della Regione Piemonte, dal 2003 è gestito da ARPA Lombardia. Dal 2006 si è sviluppata una collaborazione interregionale, che vede fra i partecipanti le Regioni Lombardia, Piemonte, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Emilia-Romagna, Puglia e le province autonome di Trento e Bolzano; dal 2009 ha aderito alla convenzione anche la Regione Marche

(Regione Lombardia, 2011). Per la regione Emilia-Romagna il sistema applicativo INEMAR viene gestito da ARPA.

Capitolo 3 Metodi di analisi

3.1 Analisi storica dei cambiamenti dell'uso del suolo

Durante il XIX secolo l'area di Ravenna è stata soggetta a diverse opere di bonifica. In dettaglio all'interno dell'area di studio sono state effettuate bonifiche nelle zone di Lido di Dante, Classe e Borgo Faina dal 1892 al 1911, nella zona di Fosso Ghiaia dal 1912 al 1935, nella Pineta di Classe a nord del fiume Bevano dal 1936 al 1960 e infine nell'area centrale della Pineta di Classe dal 1961 al 1965 (Fig. 3.1) (PSC Ravenna, 2005).

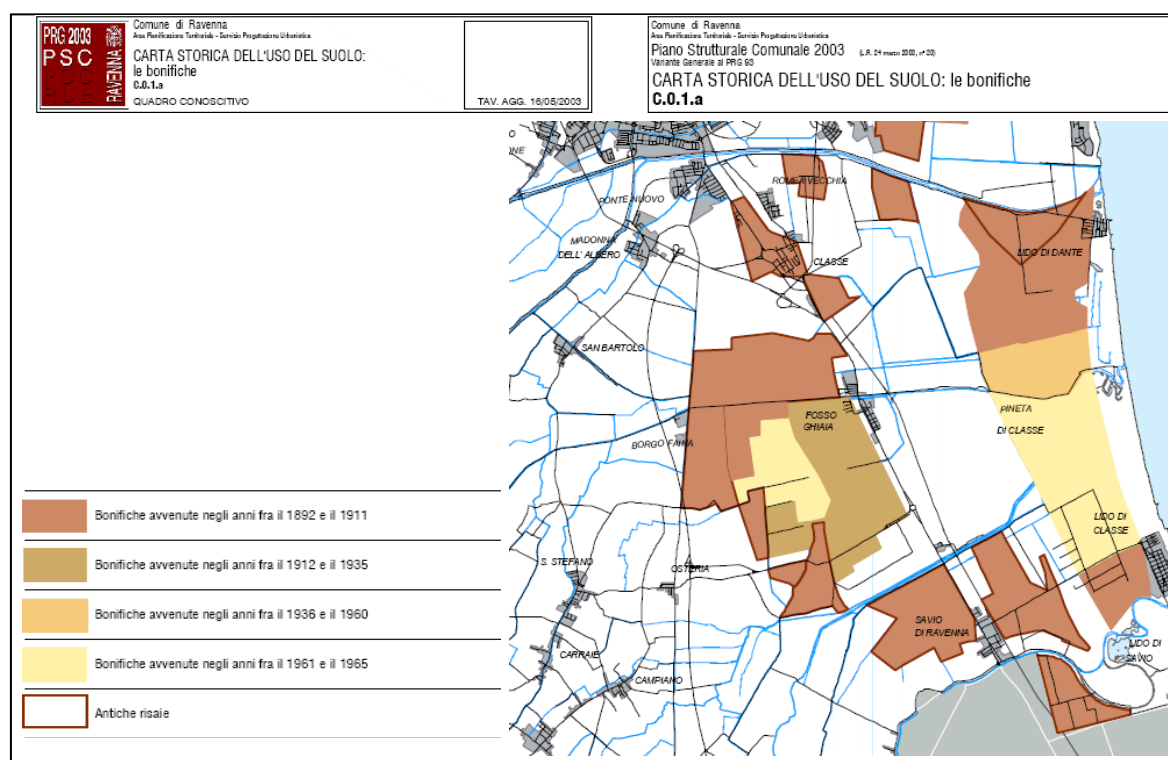


Fig. 3.1. Carta storica dell'uso del suolo, le bonifiche. Fonte: PSC del Comune di Ravenna.

Le prime bonifiche risalenti alla fine del XIX secolo coincidono con le aree di risaia.

In generale come si può notare dalla Fig. 3.1 l'intera area è da considerarsi bonificata escludendo la zona ricoperta dalla Pineta di Classe.

Consultando il sito della regione Emilia Romagna nella sezione "Cartografia dei Suoli dell'Emilia Romagna" ho ottenuto le immagini

dell'uso del suolo degli anni 1954, 1976, 1994 e 2008. Per poter analizzare come l'uso del suolo è cambiato dal 1954 al 2008 ho lavorato con ArcGis 9.3, un software che permette di ricreare carte geo-referenziate e di confrontarle tra loro.

Oltre ad un confronto visivo di cambiamento dell'uso del suolo ho calcolato la percentuale di variazione dell'uso del suolo per gli usi appartenenti al livello 1 della classificazione "Corine Land Cover"(2000).

- Livello 1**
- 1. Superfici artificiali**
 - 2. Superfici agricole utilizzate**
 - 3. Territori boscati e ambienti seminaturali**
 - 4. Zone umide**
 - 5. Corpi idrici**

La classificazione Corine è organizzata su 3 livelli, ogni uso è caratterizzato da un codice di 3 cifre che identificano il livello a cui appartiene. Nella Fig. 3.2 è riportata una sezione della legenda del Corine Land Cover 2000.

Legenda del CORINE Land Cover 2000	
1. SUPERFICI ARTIFICIALI	
1.1. Zone urbanizzate di tipo residenziale	
1.1.1. Zone residenziali a tessuto continuo	
1.1.2. Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	
1.2. Zone industriali, commerciali ed infrastrutturali	
1.2.1. Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati	
1.2.2. Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche	
1.2.3. Aree portuali	
1.2.4. Aeroporti	
1.3. Zone estrattive, cantieri, discariche e terreni artefatti e abbandonati	
1.3.1. Aree estrattive	
1.3.2. Discariche	
1.3.3. Cantieri	
1.4. Zone verdi artificiali non agricole	
1.4.1. Aree verdi urbane	
1.4.2. Aree ricreative e sportive	
2. SUPERFICI AGRICOLE UTILIZZATE	
2.1. Seminativi	
2.1.1. Seminativi in aree non irrigue	
2.1.2. Seminativi in aree irrigue	
2.1.3. Risaie	
2.2. Colture permanenti	
2.2.1. Vigneti	
2.2.2. Frutteti e frutti minori	
2.2.3. Oliveti	
2.3. Prati stabili (foraggiere permanenti)	
2.3.1. Prati stabili (foraggiere permanenti)	

Fig. 3.2. Sezione della legende del Corine Land Cover 2000. Fonte: sito web <http://www.eea.europa.eu>.

Nelle carte dell'uso del suolo ottenute utilizzando Arcgis 9.3 (Fig. 3.3, Fig. 3.4, Fig. 3.5, Fig. 3.6) ho ritenuto necessario raggruppare gli usi in 5 categorie in modo da uniformare la classificazione degli anni precedenti al 2000 cioè precedenti al Corine Land Cover. Per uniformare la classificazione degli anni 1954,1976,1994 ho confrontato la loro legenda e dopo aver individuato le classi d'uso più diffuse e le relative percentuali (Tab. 3.1), le ho rinominate utilizzando la legenda Corine in modo tale da uniformare il linguaggio per poterle analizzare e commentare.

Le classi rappresentate senza considerare le divisioni in sottoclassi del livello 2 e 3 sono area urbanizzata, area di bosco, zone umide e corpi d'acqua. Per la classe superfici agricole utilizzate ho ritenuto necessario considerare in maniera distinta le due sottoclassi più diffuse cioè le colture permanenti e i seminativi.

3.1.1 Confronto dei cambiamenti dell'uso del suolo.

Dal confronto delle carte ottenute con Arcgis (da Fig. 3.3 a Fig. 3.6) si può notare come il cambiamento dell'uso del suolo interessa tutte le classi di uso ma con andamenti crescenti o decrescenti negli anni (Tab. 3.1).

CLASSE D'USO	PERCENTUALE D'USO DEL SUOLO			
	ANNO 1954	ANNO 1976	ANNO 1994	ANNO 2008
Area di bosco	11.7	11.5	11.5	11.6
Colture permanenti	2.1	6.7	5.5	4.3
Seminativi	83.4	74.6	73	65.8
Area urbana	2.7	4.9	5.5	9.4
Corpi d'acqua e zone umide	n.d.	0.16	4.62	8.9

Tab. 3.1. Raccolta delle percentuali di uso del suolo per i 4 anni considerati.

Per le aree seminative sia semplici che arboree, intese anche come aree agricole irrigate, nel 1954 si contava l'83 % del Quinto Bacino, nel 1976 si passava al 75 % mentre nel 1994 al 73% e infine nel 2008 si è scesi al

65,8%. Per quanto riguarda le aree di bosco che comprendono sia le pinete della zona sia i prati che le aree naturali, la percentuale di uso del suolo rimane costante dal 1954 fino al 2008 con valori che variano dall'11,7 % del 1954 all'11,6% del 2008.

Andamento crescente invece per le aree urbane che comprendono sia le aree industriali che estrattive. Nel 1954 la percentuale di uso urbano è del 2,7, nel 1976 del 4,9 %, nel 1994 del 5,5% mentre nel 2008 si è raggiunto il 9,4%. Si può notare come il valore dal 1954 sia triplicato in un intervallo di tempo di 54 anni. Dal confronto cartografico si può notare che questo sviluppo urbano si è concentrato nelle aree urbane già presenti nel 1954 come Madonna dell'albero, San Bartolo, Santo Stefano, Classe e Lido di Dante ma anche nelle aree prima seminative e poi industriali nel centro dell'area di studio, nella zona di Fosso Ghiaia.

Nell'intervallo di tempo considerato le colture permanenti, intese come aree adibite a frutticoltura od orti, hanno avuto un andamento crescente nei primi 20 anni dal 2.2% al 6.7 % mentre dal 1976 al 1994 le aree ad uso frutticolo sono diminuite fino al 5.5 % per poi diminuire ancora al 4.3% nel 2008.

Infine per la classe "corpi d'acqua superficiali" nelle percentuali ho considerato anche le zone umide. I dati del 1954 non sono disponibili mentre nel 1976 il dato si riferisce solo alle zone umide dell'Ortazzo e Ortazzino.

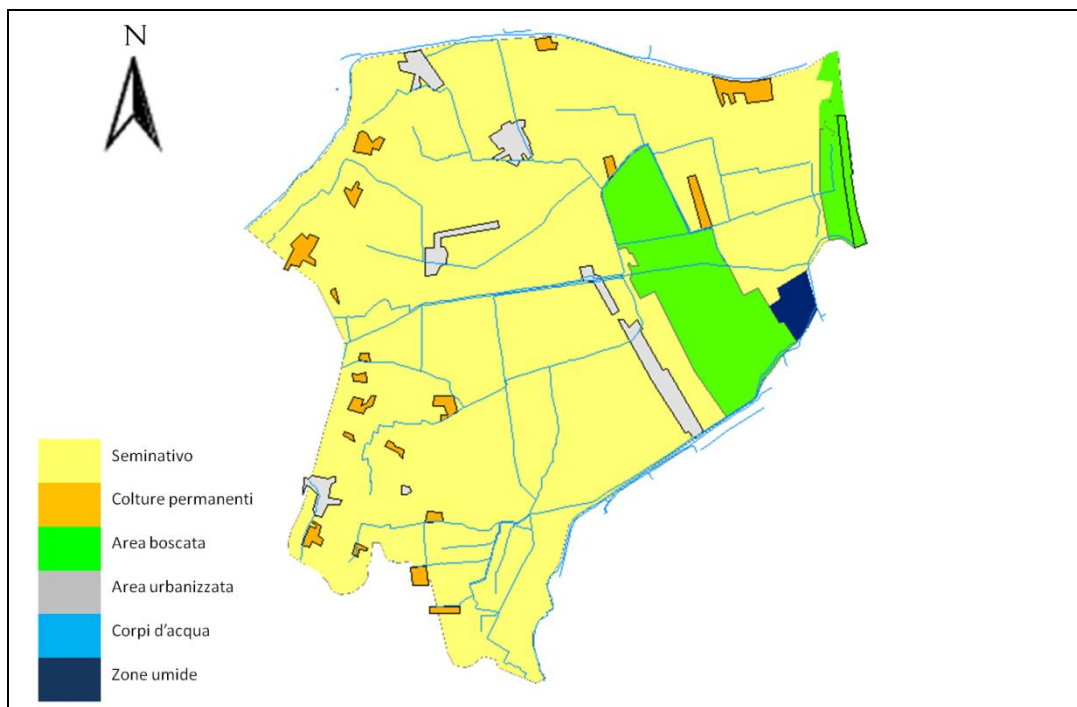


Fig. 3.3 Carta dell' uso del suolo nell'anno 1954 realizzata con ArgGis 9.3.

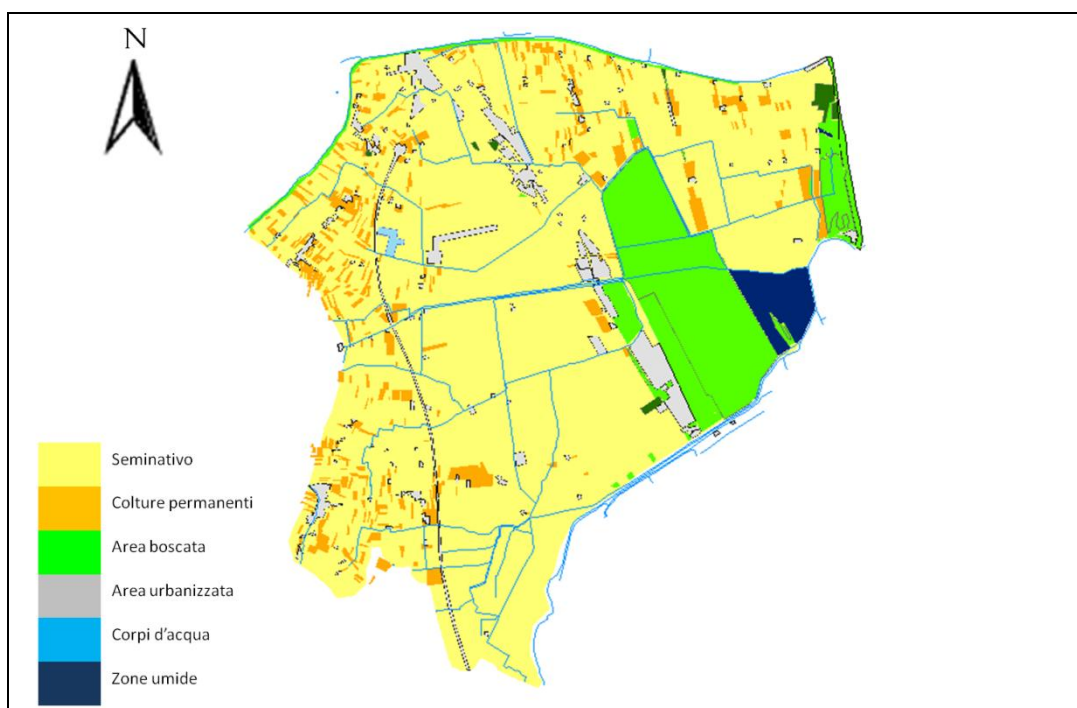


Fig. 3.4 Carta dell'uso del Suolo nell'anno 1976 realizzata con ArgGis 9.3.

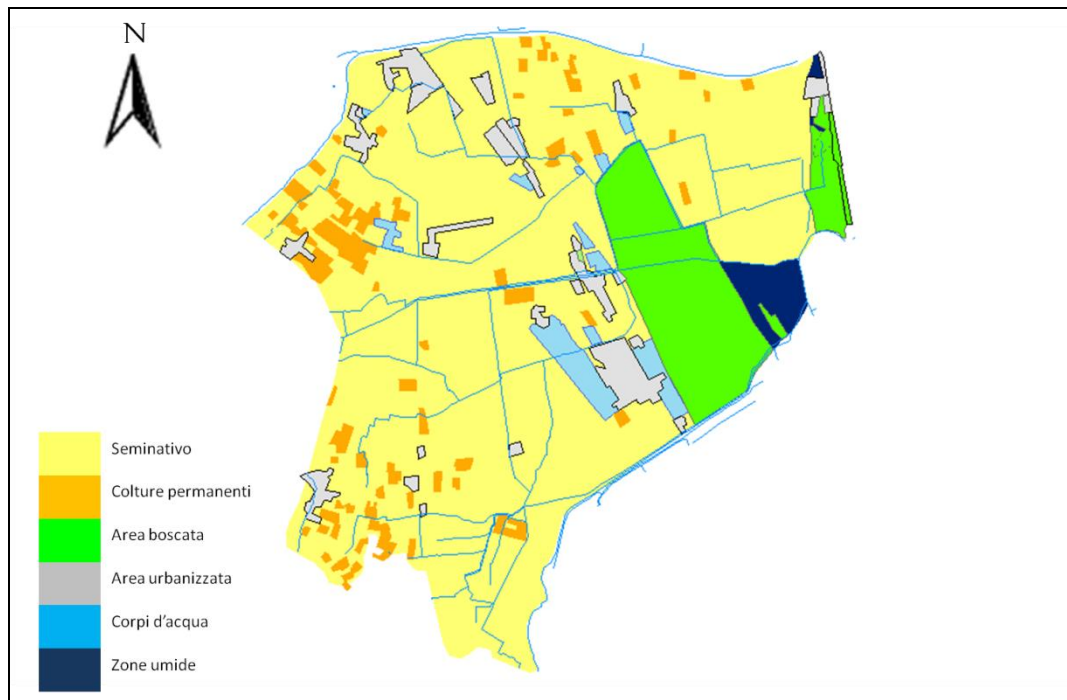


Fig. 3.5 Carta dell' uso del suolo nell'anno 1994 realizzata con ArgGis 9.3.

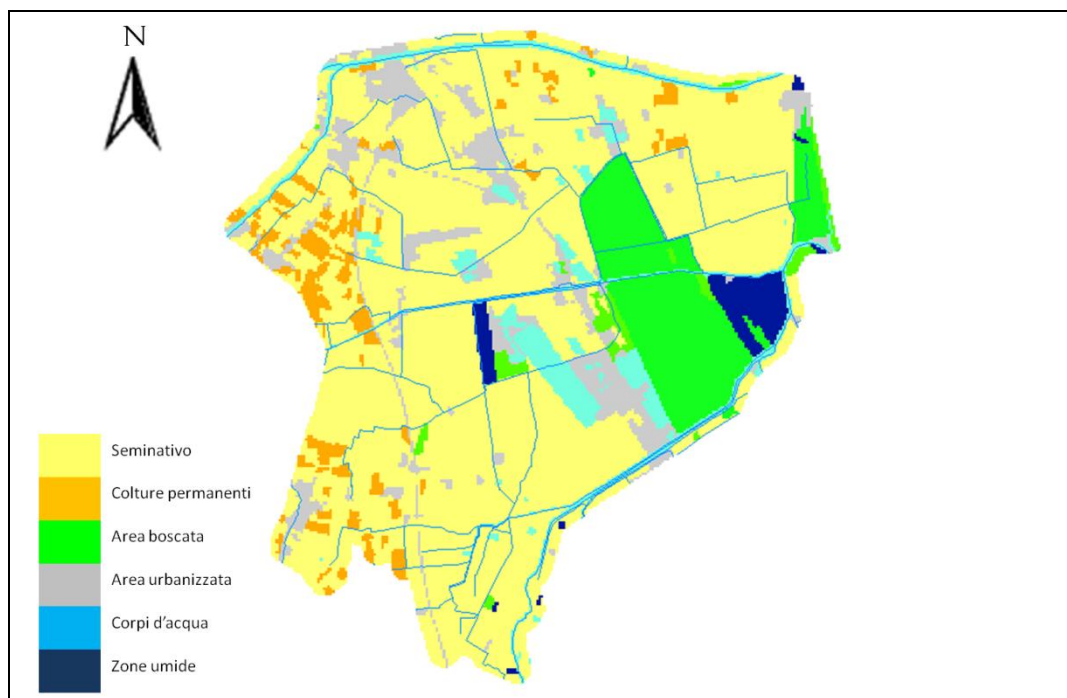


Fig. 3.6 Carta dell'uso del suolo nell'anno 2008 realizzata con ArgGis 9.3.

3.1.2 Scenari futuri di uso del suolo.

Per gli scenari considerati, A1b e A2, ho utilizzato i dati di uso del suolo elaborati da Antonellini et al. (2011).

Le percentuali di uso del suolo per gli anni 2010 e 2100 sono raccolti nella Tab. 3.2. e rappresentati nel grafico di Fig. 3.7

Scenario	% Uso agricolo	% Uso attività estrattiva	% Uso urbano	% Uso acque	% Uso foreste ambienti naturali zone umide
Anno 2008					
	70	1	8	7	14
Anno 2100					
A1b <i>GreenPlanning</i>	54	1	10	4	31
A1 Grey <i>Planning</i>	67.5	2	10	6.5	14
A2 Green <i>Planning</i>	55	1	13	4	14
A2 grey <i>Planning</i>	57	10	14	7	14

Tab. 3.2 percentuali di uso del suolo degli scenari considerati previsti per l'anno 2100. Fonte dati: Antonellini et al., 2011.

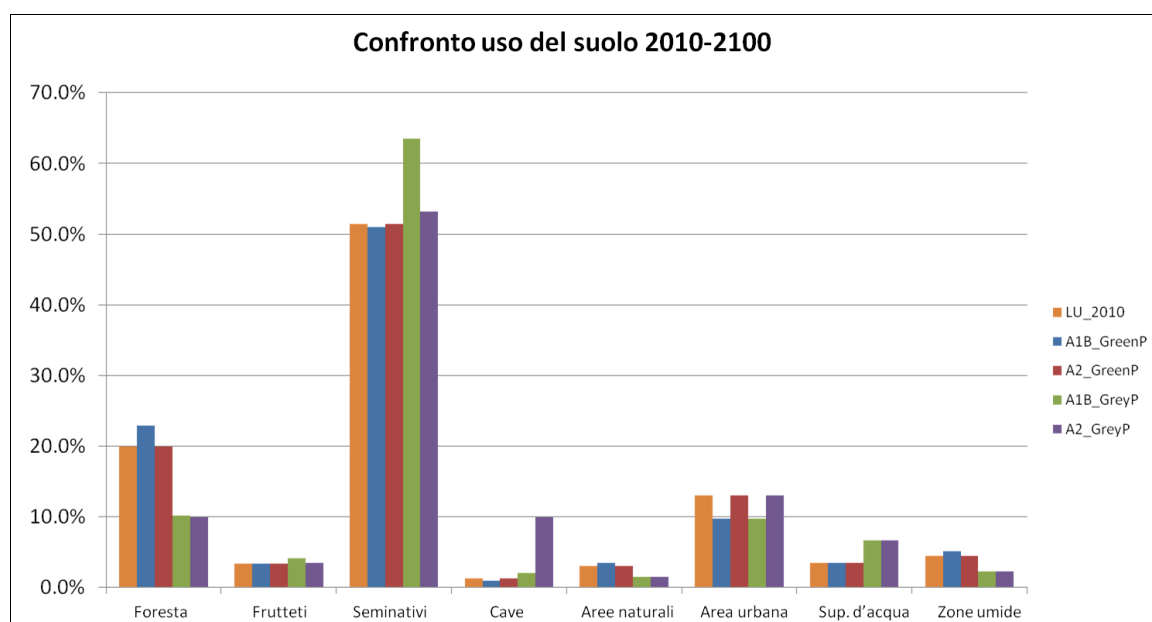


Fig. 3.7 Grafico di confronto di uso del suolo per gli anni 2010 e i diversi scenari del 2100. Fonte: Antonellini et al., 2011.

3.2 Sostanza organica nei suoli e nelle acque

Per avere una conoscenza della situazione attuale in termini di contenuto di sostanza organica nei suoli e nelle acque (DOC) nei mesi di Marzo e Aprile 2011 è stato organizzato un campionamento dei suoli e delle acque superficiali, sotterranee e di pioggia.

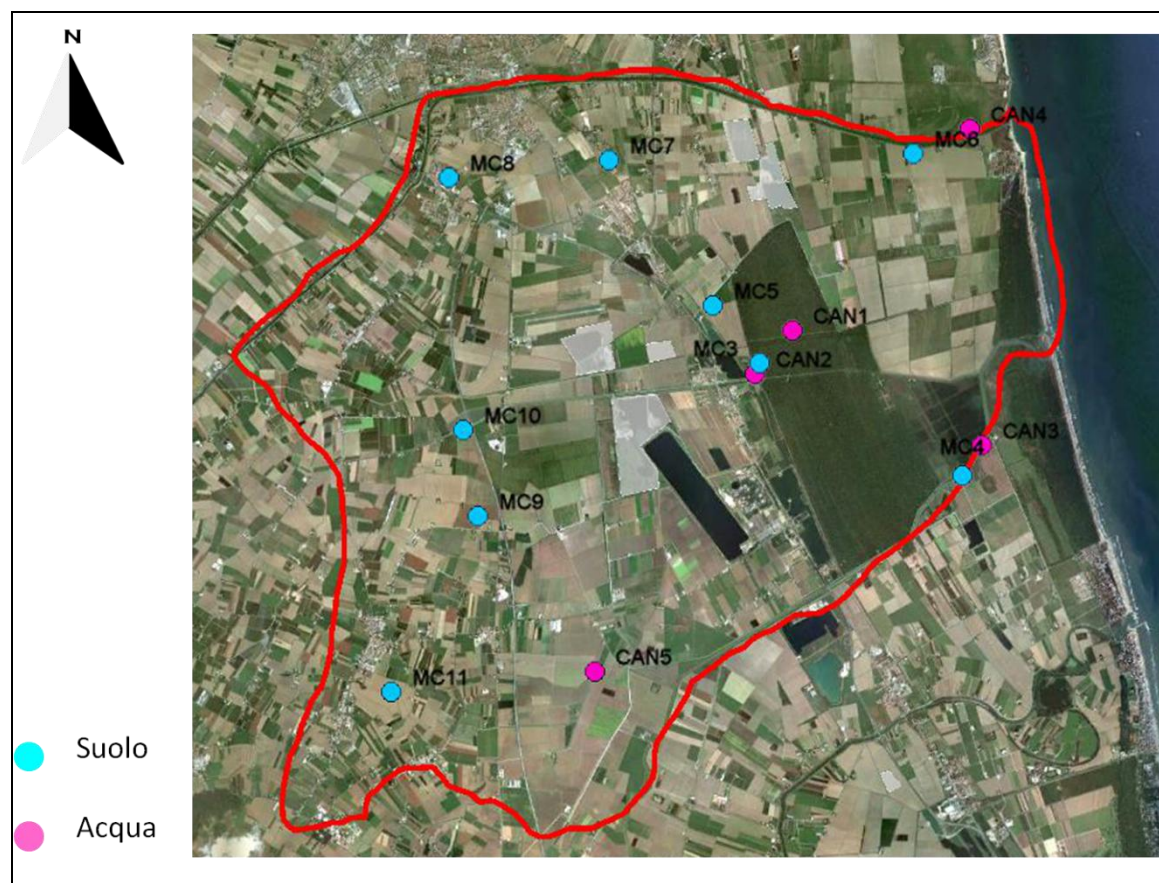


Fig. 3.8. distribuzione dei punti di campionamento delle acque e dei suoli nell'area di studio delimitata in rosso. Immagine da Google Earth.

3.2.1 Campionamento dei suoli

I punti di prelievo sono stati scelti per rappresentare in maniera generale la situazione dei suoli tipici dell'area e le condizioni di contenuto in carbonio organico a seconda dell'uso del suolo e di eventuali cambiamenti di uso nel corso di questi ultimi 20-30 anni. Il confronto storico dell'uso del suolo permette di considerare la variazione dell'uso una causa nella diminuzione di C organico. I punti di prelievo dei suoli sono stati decisi consultando il

sito della Regione Emilia Romagna nella sezione *Carte dei suoli*, dove negli anni '80 e '90 sono stati campionati molti suoli nell'area di studio e analizzati sia da un punto di vista pedologico, definizione degli orizzonti, che chimico-fisico (granulometria, contenuto di sostanza organica ecc.). e di uso del suolo.

Nelle Pineta di Classe e Pineta Ramazzotti la Regione non ha effettuato campionamenti perciò la scelta dei punti è stata casuale e un confronto tra i parametri misurati dalla regione con quelli di questo campionamento non è possibile in quanto la Regione non li ha analizzati, ma risultano un dato importante per l'obiettivo di questo lavoro.

La scelta di campionare anche i suoli di pineta oltre che per avere una conoscenza più completa del contenuto di sostanza organica nei vari tipi di suolo dell'area di studio è stata fatta per poter avere un valore di carbonio a cui tendere per suoli ad uso diverso da quello forestale. Si considera tale valore come il valore di sostanza organica che si vorrebbe raggiungere per avere uno stoccaggio di CO₂ atmosferica massimo per quell'area.

Un'ulteriore considerazione sulla fase di campionamento dei suoli è stata la profondità di prelievo per i suoli agricoli e i suoli forestali. Per i suoli appartenenti ad una classe di uso seminativo, o colture legnose agrarie o pascolo (CORINE, 1985) la profondità di prelievo è stata fissata tra i 40 e 50 cm, mentre nei suoli di zone di bosco la profondità di prelievo è stata fissata tra i 50 e 60 cm. Questa scelta è stata fatta perché l'andamento della sostanza organica nei due tipi di uso del suolo è molto diverso (RER, 2010). Nei suoli agricoli si può ipotizzare che l'andamento sia lineare nei primi 40 cm dove le lavorazioni agiscono direttamente sulle caratteristiche del suolo stesso e diminuisca in maniera netta al di sotto di questa profondità (Fig. 3.9).

Mentre nei suoli forestali a parte il contenuto senz'altro più elevato di sostanza organica, ci si è spinti più in basso poiché la variazione del contenuto di S.O. (sostanza organica) si abbassa all'aumentare della profondità in modo lineare (Fig. 3.10).

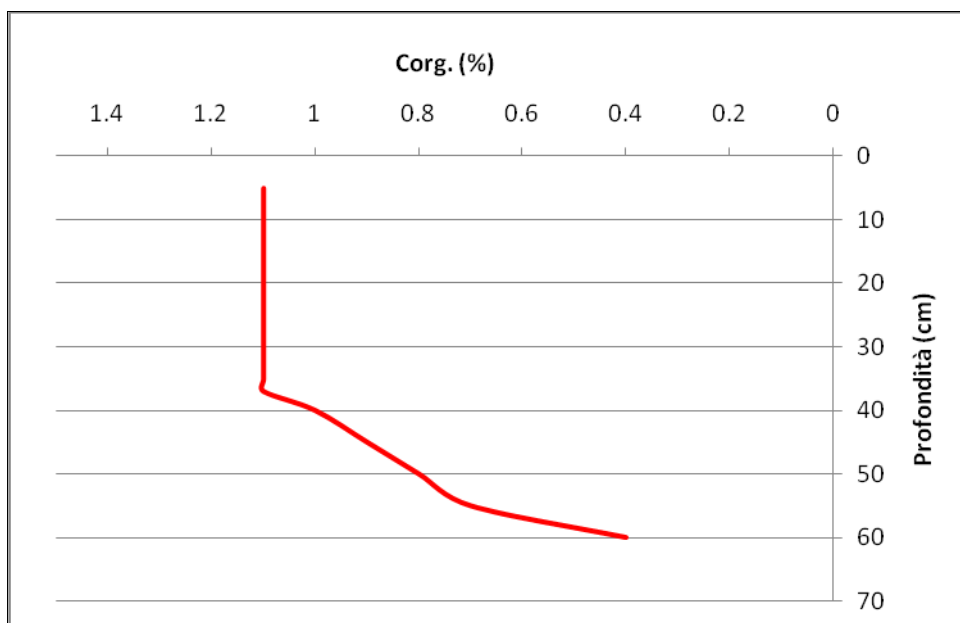


Fig. 3.9. Esempio di andamento del Carbonio organico(%) lungo i primi 60 cm di un suolo agricolo.
Fonte dei dati: Regione Emilia Romagna.

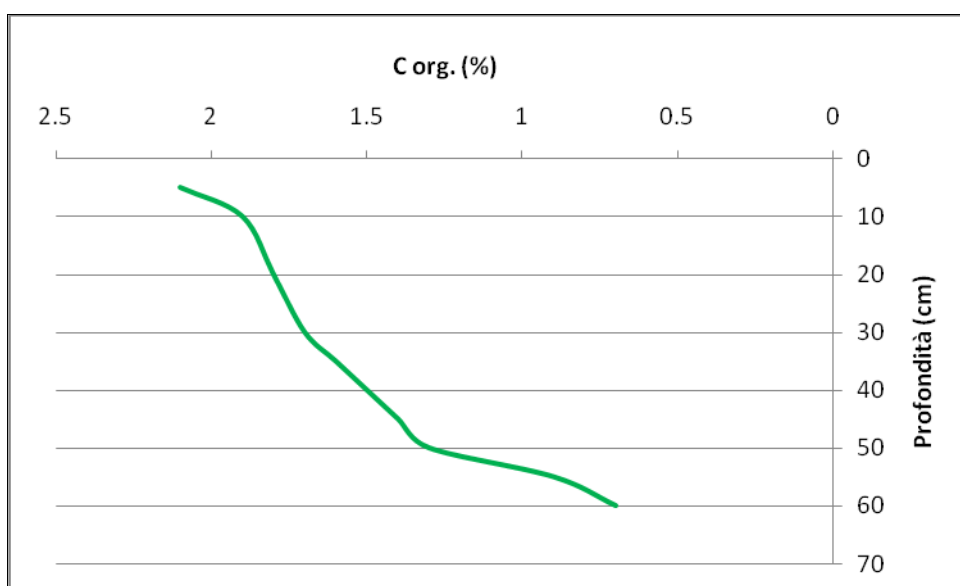


Fig. 3.10. Esempio di andamento del Carbonio organico (%) nei primi 60 cm di un suolo forestale.
Fonte dei dati: Regione Emilia Romagna.

Per ogni punto di campionamento sono stati fatti tre prelievi in tre punti distanti tra loro circa 80 cm. I campioni raccolti sono stati 9 e denominati da una sigla MC.

Con l'utilizzo di una trivella con punta lunga 10 cm e diametro di 5 cm sono state scavate buche alle profondità prescelte e il campione prelevato

è stato poi conservato in sacchetti di plastica. Il peso medio dei campioni variava da 2 a 3 kg Fig. 3.11.



Fig. 3.11 Trivella e sacchetto con campione di suolo.

I campioni una volta raccolti sono stati trasportati in laboratorio dove si sono seccati in vaschette di plastica all'esterno dell'edificio per una settimana. Successivamente, per omogeneizzare, i campioni sono stati macinati per mezzo di una macchina a rullo fino ad una grandezza di 2 mm. Una volta macinati i campioni erano pronti per l'analisi tramite il metodo Walkey-Black (1934).

3.2.2 Campionamento acque superficiali e di falda

I campioni di acque superficiali sono stati scelti in modo da raccogliere una quantità minima di acque che potessero rappresentare l'area e poter avere un giudizio sulla qualità in termini di sostanza organica. Le acque superficiali sono state raccolte sia dai corsi di primo ordine che dai canali secondari in modo da analizzare le acque che vengono usate per irrigare e quelle di drenaggio.

L'intera area sud viene irrigata da acqua proveniente dal CER, Canale emiliano Romagnolo, mentre nella zona a nord di San Bartolo le acque di irrigazione provengono dal fiume Ronco, che unendosi poi al fiume Montone formano i Fiumi Uniti.

L'acqua raccolta è stata filtrata con filtri da 0.45 μm in modo da eliminare le particelle fini sospese (Fig. 3.12). I campioni filtrati sono stati raccolti in bottiglie di plastica da 500 ml e conservati poi in scatola in modo da mantenerli al buio. Poi sono stati trasportati in laboratorio e messi a temperatura di -20 °C in congelatore. Questa procedura viene seguita per evitare lo sviluppo di attività microbiologica all'interno dei campioni.



Fig. 3.12 sistema di filtraggio da campo per acque.

3.2.3 Descrizione dei siti di campionamento dei suoli

Il prelievo dei campioni è stato svolto in due giornate nel mese di Aprile 2011. In campo, durante il 2011. In campo, durante il campionamento, per prima cosa è stato descritto brevemente il campione descritto brevemente il campione appena estratto. Qui di seguito ho raccolto le osservazioni nella raccolto le osservazioni nella

Tab. 3.3.

NOME CAMPIONE	LUOGO	COORDINATA X	COORDINATA Y	TIPO DI SUOLO	PROFONDITA' CAMPIONE	OSSERVAZIONI
Pin. Ram	Pineta Ramazzotti	764712	4917796	CERBA /SAN VITALE	0-60 cm	Prelievo in luogo circondato da vegetazione fitta sia erbacea che arborea.
MC3	Classe	760248	4916848	CERBA/SAN VITALE	0-50 cm	Coltura di patate. Forte presenza di argilla e carbonati.
MC4	Bevano	763640	4915152	SAVIO	0 – 50 cm	Campo incolto vicino all'argine del fiume Bevano. Presenza di argilla e di acqua alla profondità di 55 cm
MC5	Pineta di Classe	759446	4917749	CERBA	0-60 cm	Presenza di argilla e sabbia sul fondo del campione. Prelievo a bordo pineta e in vicinanza di una canale
MC6	Lido di Dante	762623	4920359	MARCABO'	0-50 cm	Coltura di mais. Prevalenza di sabbia
MC7	Classe	757649	4920047	CERBA/SAVIO	0-50 cm	Coltura di patate presenza di argilla sul fondo.
MC8	Madonna dell'albero	755045	4919653	SECCHIA	0-50 cm	Coltura di mais
MC9	Fosso ghiaia	755745	4914166	RISAIA DEL DUCA	0 – 50 cm	Campo di grano. Presenza di argilla e sabbia.
MC10	S. Bartolo	755447	4915557	RISAIA DEL DUCA	0- 50 cm	Campo di grano. Presenza di argilla e sabbia sul fondo.
MC11	Carraie	754448	4911250	SANT'OMOBONO	0- 50 cm	Campo di piselli. Presenza di argilla.

Tab. 3.3. Descrizione dei siti di campionamento dei suoli.

3.3 Analisi delle acque

Prima di procedere all'analisi del DOC, per ogni campione è stata determinata la Conducibilità elettrica tramite un conduttimetro portatile per verificare se i sali come i cloruri Cl^- potessero interferire con i risultati del DOC.

3.3.1 Determinazione dei Cloruri

La determinazione dei cloruri è stata fatta tramite titolazione argentometrica con indicatore colorimetrico (Mohr, 1989).

Il contenuto di ioni cloruro, espresso come mg/L di Cl^- è dato dalla seguente formula:

$$\text{Cl}^- = \frac{V M_{\text{eff}} \cdot 35,453 \cdot 1000}{V_0}$$

dove:

V_0

V_0 = volume in mL di campione prelevato per l'analisi;

V_i = volume in mL di argento nitrato 0,1 M usati nella titolazione del campione;

M_{eff} = molarità effettiva della soluzione di argento nitrato 0,1 M

35,453 = peso atomico dello ione cloruro (Cl^-).

3.3.2 Determinazione DOC

I campioni di acqua raccolti sono stati filtrati in campo e conservati, fino al giorno delle analisi presso il laboratorio di pedologia del CIRSA, in bottigliette di plastica di 500 ml. Per i campioni di acque meteoriche, che nei pluviometri contenevano 100 ml di petrolato per evitare l'evaporazione dell'acqua raccolta, è stata effettuata l'estrazione del petrolato tramite pompa peristaltica in modo da ottenere un campione di sola acqua.

Per l'analisi del DOC è stato adottato il metodo per ossidazione con bicromato di potassio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) metodo Maciolek (1962).

Sono stati prelevati 50 ml per ogni campione e messi in beuta. Il campione è stato messo in forno e fatto evaporare a 80°C per tutta la notte. Il giorno dopo, 10 ml di soluzione di bicromato di potassio a 1/60 M sono stati aggiunti nella beuta, che è stata poi agitata per sciogliere al meglio i residui, e 20 ml di acido solforico concentrato dopo di che tale soluzione è stata lasciata a riposo per 30 minuti (Fig. 3.13). In seguito 200 ml di acqua distillata, 10 ml di acido orto fosforico concentrato e 2 ml di indicatore di solfonato bifenilamina di bario sono stati aggiunti ad ogni campione. La soluzione risultante è stata titolata con una soluzione 1/20 M di solfato di ammonio fino al punto di viraggio, per determinare la concentrazione rimanente di bicromato di potassio (Fig. 3.14).



Fig. 3.13 Preparazione della soluzione di acqua e acido solforico.



Fig. 3.14 campioni di acqua con aggiunta di bicromato di Potassio lasciato a riposo per 30 minuti.

Per calcolare la concentrazione di materia organica disciolta (DOM) all'interno di ogni campione si procede calcolando inizialmente la richiesta chimica di ossigeno (COD); il peso di ossigeno che è richiesto per ossidare i campioni che contengono materia organica è calcolata usando l'equazione

$$COD = \frac{(V_b - V_s) \cdot 8000}{Vol \cdot V_b}$$

dove:

COD = domanda chimica di ossigeno (mg/L di O₂)

V_b = volume del campione di controllo

V_s = volume di campione

La presenza di cloruri nel campione può influenzare l'accuratezza del risultato finale (Maciolek, 1962) perciò si corregge utilizzando le seguenti equazioni:

Correzione CI = COD - CI O.C

dove CI O.C. = CI O.E. * Cl (mg/l)

CI O.C = ossigeno consumato in presenza di cloruri

CI O.E = ossigeno equivalente

Il valore di COD corretto viene convertito in materia organica disciolta (DOM) dividendo l'ossigeno equivalente per il fattore di conversione, 1.44.

Per determinare la concentrazione di DOC, il DOM di ogni campione viene diviso per 2 assumendo che il 50% del DOM è carbonio (Grieve, 1984a)

3.4 Analisi dei Suoli

Per determinare il contenuto di carbonio organico sono stati utilizzati due metodi :

- Metodo di Walkley Black
- Analizzatore elementare CHNSO

3.4.1 Metodo Walkley Black

Principio

Il carbonio organico viene ossidato con anidride carbonica, in condizioni standardizzate, mediante soluzione di potassio bicromato in presenza di acido solforico. La velocità della reazione viene favorita dall'innalzamento della temperatura conseguente alla brusca diluizione dell'acido.

Dopo un tempo stabilito, la reazione viene interrotta per aggiunta di opportuna quantità di H₂O e la quantità di potassio bicromato che non ha reagito viene determinata per titolazione con una soluzione di ferro (II) solfato eptaidrato, Fe(SO₄) 7H₂O. Il punto finale della titolazione viene accertato con l'aggiunta di un opportuno indicatore di ossidoriduzione. (D.M. 13/9/1999)

Dai campioni macinati è stata prelevata una quantità in grammi compresa tra 0.5 e 3.5 g. Ad ogni campione sono stati aggiunti 10 ml di K₂Cr₂O₇, e posti in matraccio conico da 50 ml.

Successivamente sono stati aggiunti 20 ml di acido solforico, H₂SO₄. La soluzione è stata coperta e lasciata a riposo per 30 minuti.

La reazione è stata interrotta con l'aggiunta di 200 ml di H₂O e ogni matraccio è stato posizionato sull'agitatore magnetico per la titolazione con la soluzione di Fe(SO₄) 7H₂O, il titolante che riduce il Cr⁶⁺ in Cr³⁺, fino al viraggio dal blu al verde. Prima della titolazione sono stati aggiunti 0.5 ml

dell'indicatore oxred, una soluzione di acido solforico H_2SO_4 e 4 difenilammino-solfonato ($C_{12}H_{10}NaNO_3S$).

Per il calcolo del contenuto in carbonio organico viene utilizzata la seguente espressione (D.M. 13/9/1999) :

$$C = \frac{3 * (B - A) * MFe(II) * 12 * 1000}{2 * 1000 * 6 * M} * 1,30$$

Dove:

C = Contenuto in carbonio espresso in g/Kg,

B = volume di soluzione di ferro (II) solfato utilizzato nella soluzione del bianco, in ml

A = volume di soluzione di ferro (II) solfato utilizzato nella soluzione del campione in ml,

MFe (II) = molarità effettiva della soluzione di ferro solfato,

1,30 = fattore di correzione che tiene conto della parziale ossidazione (70%) del C organico

M = massa del campione di suolo in grammi.

3.4.2 Analizzatore elementare CHNSO

Per un confronto con i risultati ottenuti dal metodo Walkley Black (1969) è stato messo a punto un nuovo strumento nei laboratori CIRSA per l'analisi del Carbonio organico per mezzo dell' *Organic Elemental Analyzer Flash 2000* (Fig. 3.15). Lo strumento è costituito da due colonne una per l'analisi del CHNS e una per l'analisi dell' Ossigeno.

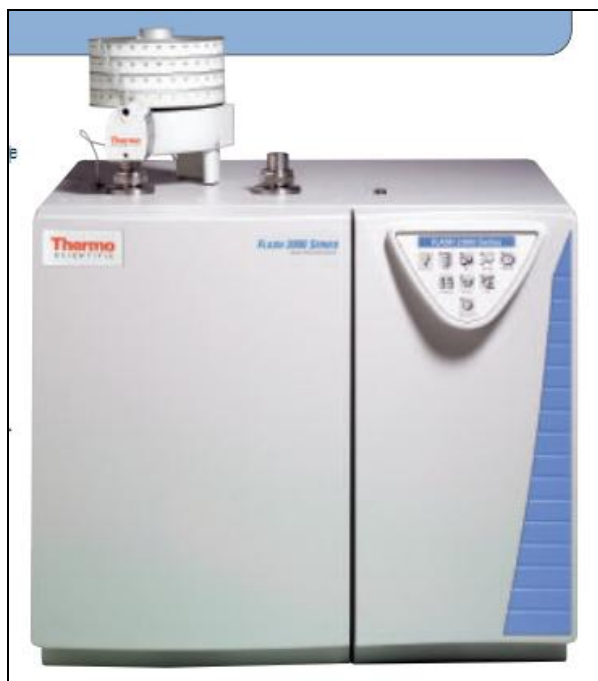


Fig. 3.15. *Organic Elemental Analyzer Flash 2000.* (<http://www.brechbuehler.ch/FLASH-2000.296.0.html>)

La preparazione dei campioni prevede:

- Polverizzazione dei suoli per mezzo di un mortaio in agata per ottenere una dimensione dei granuli inferiore a 0,2 mm.
- Prelievo di un'aliquota di campione compresa tra i 10 e 20 mg in capsule d'argento.
- Trattamento del campione con 8 μ l HCl concentrato al 10%.
- Riscaldamento del campione su piastra riscaldante a 80° C per disseccamento.
- Aggiunta di 10 mg di Pentossido di Vanadio (V_2O_5) per favorire la combustione dello Zolfo.
- Chiusura dei crogioli.

La procedura di analisi prevede l'inserimento dei campioni nell'autocampionatore, un cilindro contenente 32 porta campioni. Nella colonna del CHNS, *carrier*, l'elio viene miscelato con l'Ossigeno e avviene la combustione del campione. La temperatura di lavoro è di 950 °C che riduce il campione in gas elementari. La colonna CHNS è costituita da una parte superiore ossidante e una inferiore riducente. Uscito dalla colonna

CHNS il flusso *carrier* va nella colonna cromatografia e arriva al detector TCD.

I risultati sono visualizzabili sia attraverso un cromatogramma che numericamente in tabella in termini di percentuale o mg/g di Carbonio.

Interpretazione dei cromatogrammi

Gli elementi escono dalla colonna cromatografia in tempi diversi a seconda dei loro tempi di ritenzione. Escono in successione Azoto come N₂, Carbonio come CO₂, Idrogeno come H₂O e Zolfo come SO₂. i composti formano nel cromatogramma picchi ben definiti con quello dell' Idrogeno smussato (Fig. 3.16).

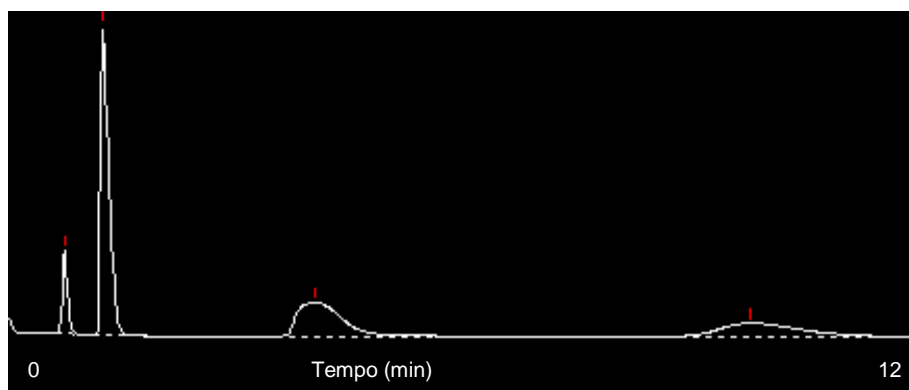


Fig. 3.16 Esempio di cromatogramma risultante dall'analisi di suolo con *Organic Elemental Analyzer Flash 2000*

3.5 Metodo di calcolo del tasso di riforestazione

3.5.1 Modelli di calcolo

Nella tabella di pagina seguente (Tab. 3.4) ho raccolto diversi modelli di calcolo ritrovati in letteratura. Questa tabella mi permette di confrontare gli strumenti presenti e utilizzati per il calcolo di CO₂ in altri studi e dimostrare la difficoltà di gestire molte informazioni eterogenee.

Fonte modello	Descrizione del calcolo
DEFRA 2005. Guidelines for Company Reporting on Greenhouse Gas Emissions – Annexes, http://www.defra.gov.uk/Environment/business/envrp/gas/envrpgas-annexes.pdf	Un grande albero può assorbire 500 kg di Anidride Carbonica ad esempio circa 1.5 tonnellate di CO ₂ durante la crescita in più di 50 anni (media 0,03 tonnellate=30kg di CO ₂ all'anno)
Birdsey R.A, 1992. Carbon storage and accumulation in United States forest eco system. General Technical Report WO-59. United States Department of Agriculture	accumulano una quantità di CO ₂ per unità di superficie circa doppia (4-8 t/ha) rispetto a quelle in ambito urbano . L'accumulo può variare da 16 Kg/a per piccoli alberi (8-15cm) a lenta crescita, fino a circa 360 Kg/a per alberi più grandi ed al loro ritmo massimo di accrescimento. 172 t/ha 40 t/ha
ISPRA (ex APAT) Rapporto 21/2002 Modello CSEM	Per mezzo del CSEM è possibile calcolare per diverse specie di piante la curva di accrescimento di e il volume ad ettaro in m ³ di biomassa presente in bosco all' anno t. Ottenuto il volume al tempo t è possibile calcolare la quantità di CO ₂ stoccata in quanto 1m ³ di biomassa = 1.19 t di CO ₂ stoccata in 15 anni
Lasserre B, Marchetti M <i>EcoGeoFor Lab, Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio, Università degli Studi del Molise</i>	Convertire l'emissione di CO ₂ in C. $CO_2(pm) = 44(C) + 16(O) + 16(O) = 76(pm)$ Stimare quanto Carbonio C viene emesso e metterlo in relazione con quello accumulabile da un albero: abete bianco di 33 cm di diametro, 25 m di altezza ed età 70 anni. →.

Tab. 3.4. Raccolta dei modelli per il calcolo di Carbonio stoccato in un albero

3.5.2 Modello CSEM

Per i calcoli ho deciso di utilizzare il modello proposto dall' ISPRA (ex APAT) descritto nel Rapporto 21 del 2002. CSEM è l'acronimo di *Carbon Sequestration Evaluation Model*. Il modello si propone di studiare l'evoluzione del carbonio fissato nelle foreste semi-naturali, nell'ipotesi che questa segua l'andamento della cosiddetta curva di accrescimento logistico e dei relativi parametri di crescita. La curva di accrescimento esprime l'accrescimento in numero e massa di una popolazione (Susmel, 1988). L'analisi di questa curva rivela che alcuni suoi tratti assumono rilevante significato ecologico (Fig. 3.17):

- Tratto iniziale: dapprima la curva si sviluppa in modo tendenzialmente esponenziale; gli individui che compongono la popolazione dimostrano d'essere in grado di riprodursi e di accrescersi numericamente e in peso, come se nell'ambiente non agisse alcun fattore limitante.
- Flesso: il punto di flesso che pone termine al tratto approssimativamente esponenziale della curva d'accrescimento segna l'intervento di un fattore ecologico, biotico o abiotico, che impedisce agli organismi ed alla popolazione di svilupparsi sotto il controllo dei soli fattori genetici. Si fanno dunque attivi dei fattori ambientali limitanti.
- Tratto finale: gli accrescimenti diminuiscono progressivamente e alla fine si annullano. I fattori limitanti esplicano la propria funzione e mantengono la popolazione a valori di effettivo equilibrio con le condizioni ambientali."

L'espressione analitica della curva è :

$$V(t) = \frac{K}{1 + \left(\frac{K - M_0}{M_0}\right)e^{-rt}}$$

Dove

$V(t)$ è il volume ad ettaro in m^3 di biomassa presente in bosco all'anno t ,

K è la capacità portante dell'ecosistema, misurata in m^3 ad ettaro,

M_0 è l'intercetta sull'asse V, ossia m^3 ad ettaro esistenti all'anno zero, r è il tasso intrinseco di accrescimento (Wilson e Bossert 1974).

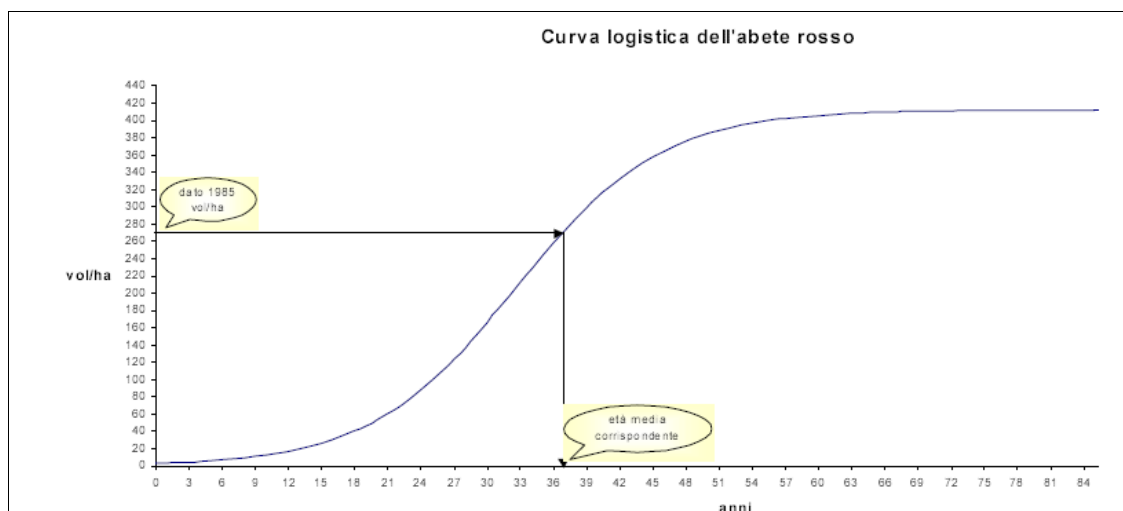


Fig. 3.17 Esempio di curva logistica dell'abete rosso. Fonte: ISPRA,2002

Nel rapporto 21 del 2002 sono raccolti i fattori di accrescimento cioè K , M_0 ed r per 14 tipi di formazioni forestali individuati dall' Inventario forestale nazionale italiano del 1985 Fig. 3.18.

PARAMETRI DI CRESCITA			
	K	M_0	r
Fustaia abete rosso	412	2,9	0,152
Fustaia abete bianco	572	2,9	0,101
Fustaia larice	301	2,9	0,156
Fustaia pini montani	269	2,9	0,162
Fustaia pini mediterranei	199	2,9	0,147
Altre conifere	142	2,9	0,144
Fustaia faggio	303	2,9	0,174
Fustaie querce	211	2,9	0,141
Fustaia altre latifoglie	230	2,9	0,145
Ceduo faggio	165	15,2	0,248
Ceduo castagno	198	15,2	0,23
Ceduo carpini	114	15,2	0,174
Cedui querce	119	15,2	0,211
Ceduo altre latifoglie	127	15,2	0,202

Fig. 3.18. Tabella con i parametri di crescita. Fonte: fornita dall'inventario forestale nazionale italiano.

Una volta calcolato il volume di accrescimento al tempo t moltiplico il risultato per la relazione che $1 m^3$ di legno immagazzina $1,19 t$ di CO_2 in 15 anni (ISPRA,2002). Oltre a conoscere il risultato in volume/ettaro con questo metodo è possibile rappresentare la curva logistica della specie interessata e fare confronti tra specie diverse in modo da individuare la

soluzione migliore per l'abbattimento della CO₂ atmosferica di una determinata area.

3.6 WATER_DST

Per rappresentare i possibili scenari di riforestazione da applicare nell'area di studio ho utilizzato uno strumento realizzato da Antonellini et al. (2011) e che è stato ideato per valutare e visualizzare gli effetti del cambiamento dell'uso del suolo e dei cambiamenti climatici sulle risorse d'acqua nei bacini costieri e sulla vulnerabilità degli acquiferi alla salinizzazione (Antonellini et al. 2011). Lo strumento è il WATER_DST uno strumento GIS che si sviluppa all'interno dell'applicazione di Excel. Questo strumento richiede la conoscenza delle funzioni di Excel e si può combinare con mappe tematiche prodotte in GIS. Questo strumento è un esempio di Decision Support Tool cioè uno strumento che permette di collegare le conoscenze scientifiche dei ricercatori ai decisori pubblici facilitando così la comprensione di fenomeni spesso complessi e favorirne così la loro gestione.

L'idea base del WATER_DST è usare Excel come un semplice GIS (Antonellini et al. 2011). Il territorio si divide in particelle e ogni particella è associata ad una cella di Excel. Ogni cella di Excel è associata agli attributi GIS cioè all'uso del suolo, tipo di suolo, altimetria, ecc.

Le diverse informazioni di ogni particella vengono raccolte in diversi fogli all'interno del WATER_DST che corrispondono ai diversi "layers" in GIS. Ogni cella contiene l'informazione e la formula associata. Cambiando i valori di uso del suolo vengono automaticamente ricalcolati i valori associati ai parametri nei diversi fogli.

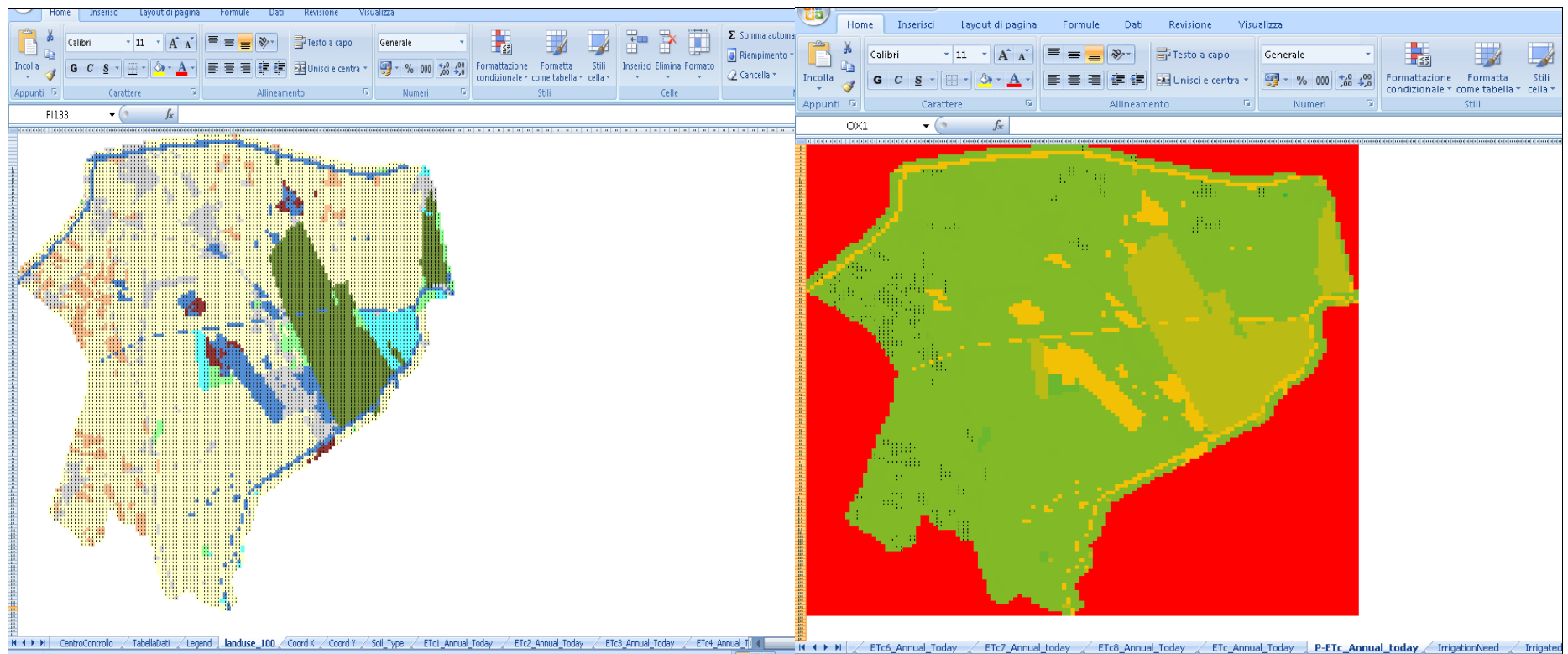


Fig.3.19 interfaccia grafica del WATER_DST. Due esempi di risultati. A destra rappresentazione dell'uso del suolo;a sinistra tasso di precipitazione-evapotraspirazione annua.

Capitolo 4 Risultati

4.1 Calcolo di CO₂ emessa nell'area di studio

Come descritto nel paragrafo Fonti di emissioni di CO₂, lo strumento di base per la stima di CO₂ nell'area provinciale di Ravenna è l'INEMAR.

Come riportato nel WorkPackage1 del Progetto NINFA Extend (RER, 2010) le sorgenti di CO₂ sono divise per Provincia in Macrosettori (Fig. 4.1).

	NOx	%	CO	%	SOx	%	PM10	%	NM VOC	%	NH3	%	CO2 eq	%
M1: Prod energia	6.062	5	420	0	1.899	12	72	0	539	0	0	0	9.511	20
M2: Combustione non industriale	9.426	7	66.513	43	1.263	8	4.175	28	36.866	33	117	0	10.095	21
M3: Combustione nell'industria	14.298	11	3.017	2	8.636	54	2.154	14	506	0	94	0	6.356	13
M4: Processi produttivi	5.522	4	1.249	1	2.729	17	1.789	12	5.356	5	272	0	4.966	10
M5: Estraz/distrib comb	0	0	0	0	0	0	0	0	4.072	4	0	0	787	2
M6: Uso solventi	0	0	0	0	0	0	0	0	42.752	38	0	0	180	0
M7: Trasporto su strada	77.512	60	72.725	47	483	3	4.497	30	11.634	10	1.117	2	14.000	29
M8: Altre sorgenti mobili	14.059	11	8.213	5	991	6	1.925	13	2.595	2	3	0	1.086	2
M9: Tratt/smaltim rifiuti	695	1	157	0	26	0	7	0	27	0	114	0	2.818	6
M10: Agricoltura	641	0	0	0	0	0	400	3	75	0	54.108	97	3.990	8
M11: Altre sorg emi/assorb	34	0	978	1	8	0	54	0	6.983	6	8	0	-6.335	-13
TOTALE	128.249	100	153.272	100	16.034	100	15.072	100	111.407	100	55.832	100	47.454	

Fig. 4.1 Tabella riassuntiva con la suddivisione delle diverse emissioni per macrosettori (M). in evidenza i macrosettori e la Concentrazione di CO₂ eq (kt/a e %). Fonte NINFA Extend, RER 2010.

I Macrosettori considerati sono:

- M7 :trasporto su strada
- M8 :altre sorgenti mobili
- M10: Agricoltura

Per la stima consideriamo la superficie della provincia di Ravenna (P-Ra), quella del Comune di Ravenna (C-Ra) e quella del Quinto Bacino (5°Bac) , Tab. 4.1.

P-Ra	1858 km ² *
C-Ra	652,89 km ² *
5°Bac	103 km ²

Tab. 4.1 Calcolo della superficie della Provincia P-Ra, Comune, C-Ra di Ravenna e dell'area di studio 5° Bac. Fonte sito web del Comune Ravenna

Come si nota dalla tabella sopra il rapporto tra superficie del C-Ra e 5°Bac è 6.33.

Supponendo che le emissioni di CO₂ siano uniformemente distribuite sul territorio provinciale di Ravenna posso fare una prima stima della concentrazione di CO₂ nell'area del Quinto Bacino.

Raccogliendo i risultati proposti dal NINFA Extend 2010, in una tabella riassuntiva (Tab. 4.2)

MACROSETTORE	CO ₂ (Kt/a) Provincia di Ravenna
MC7	1219
Veicoli a benzina	
Veicoli a diesel	
Veicoli pesanti a diesel	
MC8	100
Ferrovia agricoltura	
MC10	3
TOT	1322

Tab. 4.2 Emissioni di CO₂ per Macrosettore.

Possiamo dividere il totale di CO₂ di ogni macrosettore per l'area del Quinto Bacino, per l'area del comune di Ravenna e il totale per il comune dividerlo per 6.3 che è il rapporto tra area comune di Ravenna e Quinto Bacino.

Con una semplice proporzione ottengo i seguenti risultati proposti in Tab. 4.3.

Macrosettore	Tot CO ₂ 5°Bac (kt/a) (rapporto con P-Ra)	Tot CO ₂ (kt/a) C-Ra	Tot CO ₂ 5°Bac (kt/a) (Rapporto con C-Ra)
M7- Trasporto su strada	67,576	427,765	71,294
M8 -Altre sorgenti mobili	5,54	35,091	5.84
M10 -Agricoltura	0,166	1,052	0.175
Tot	73,282	463,908	77,309

Tab. 4.3 Emissioni di CO₂ diviso per area d'interesse e macrosettore. In giallo le emissioni per il Quinto Bacino.

Possiamo perciò concludere che le emissioni totali nell'area di studio, in maniera approssimata, sono comprese tra 73,282 kt/a e 77,309 kt/a.

Ovviamente l'assunzione che mi ha permesso di fare questi calcoli riduce molto la significatività dei risultati ma per gli obiettivi di questo lavoro posso comunque prenderli come punto di partenza per calcolare quanta vegetazione è necessaria per compensare queste emissioni.

Un altro punto importante è l'influenza della città di Ravenna a nord dell'area. Oltre al traffico veicolare è da considerare anche il porto di Ravenna. La quantità di CO₂ proveniente da questo settore è di 54 kt/a (RER,2010)

4.2 Tasso di riforestazione per compensare la CO₂ prodotta.

Dopo aver stimato la quantità di CO₂ all'interno dell'area di studio il passo successivo è compensarlo con la piantumazione di specie vegetali. Da sottolineare che dalla caratterizzazione pedologica dell'area, questa presenta diverse limitazioni alle colture forestali anche all'interno della zona ad uso seminativo semplice e arboreo. I suoli su cui intervenire con la riforestazione sono ristretti a CERBA, SAN VITALE e PRADONI (Cfr. Tab.2.1).

4.2.1 Modello CSEM

Applicando il modello CSEM e considerando come possibili specie da usare per la riforestazione nell' area di studio le seguenti:

- Pini marittimi,
- Cedui querce,
- Altre latifoglie cedue: rovere, betulla, pioppo, olmo,
- Altre conifere.

si ottengono i seguenti risultati, raccolti nella tabella seguente, Tab. 4.4. I calcoli sono stati fatti utilizzando un foglio di calcolo Excel così come i grafici ottenuti, Fig. 4.2, Fig. 4.3, Fig. 4.4, Fig. 4.5 e Fig. 4.6.

TEMPO anni	VOLUME di biomassa ALTRE LATIFOGIE in ettari	VOLUME di biomassa PINI in ettari	VOLUME di biomassa ALTRE CONIFERE in ettari	VOLUME di biomassa QUERCE in ettari
1	18.1	3.4	3.3	18.2
2	21.5	3.9	3.8	21.7
3	25.3	4.5	4.4	25.7
4	29.7	5.2	5.1	30.2
5	34.5	6.0	5.8	35.2
6	39.8	6.9	6.7	40.7
7	45.5	7.9	7.7	46.5
8	51.6	9.1	8.8	52.6
9	57.9	10.5	10.1	58.8
10	64.3	12.0	11.5	65.1
11	70.7	13.8	13.1	71.2
12	76.9	15.8	14.9	77.1
13	82.9	18.1	16.9	82.7
14	88.5	20.7	19.2	87.8
15	93.7	23.5	21.7	92.4
16	98.4	26.8	24.5	96.5
17	102.6	30.4	27.6	100.1
18	106.4	34.3	30.9	103.2
19	109.6	38.7	34.6	105.9
20	112.4	43.5	38.5	108.1
21	114.9	48.7	42.6	110.1
22	116.9	54.3	47.0	111.7
23	118.6	60.3	51.7	113.0
24	120.1	66.7	56.5	114.1
25	121.3	73.3	61.5	115.0
26	122.3	80.2	66.5	115.7
27	123.1	87.4	71.6	116.3
28	123.8	94.6	76.7	116.8
29	124.4	101.9	81.8	117.2
30	124.9	109.2	86.7	117.6
31	125.2	116.4	91.5	117.8
32	125.6	123.4	96.1	118.1
33	125.8	130.2	100.4	118.2
34	126.0	136.6	104.5	118.4
35	126.2	142.7	108.4	118.5
36	126.4	148.5	111.9	118.6
37	126.5	153.8	115.2	118.7
38	126.6	158.7	118.2	118.7
39	126.6	163.3	120.9	118.8
40	126.7	167.4	123.4	118.8
41	126.8	171.1	125.6	118.9

42	126.8	174.4	127.5	118.9
43	126.8	177.4	129.3	118.9
44	126.9	180.1	130.9	118.9
45	126.9	182.5	132.3	118.9
46	126.9	184.6	133.5	119.0
47	126.9	186.4	134.6	119.0
48	126.9	188.0	135.5	119.0
49	127.0	189.5	136.4	119.0
50	127.0	190.7	137.1	119.0
51	127.0	191.8	137.7	119.0
52	127.0	192.8	138.3	119.0
53	127.0	193.6	138.8	119.0
54	127.0	194.3	139.2	119.0
55	127.0	194.9	139.6	119.0
56	127.0	195.5	139.9	119.0
57	127.0	196.0	140.2	119.0
58	127.0	196.4	140.4	119.0
59	127.0	196.7	140.6	119.0
60	127.0	197.0	140.8	119.0
61	127.0	197.3	3.3	18.2

Tab. 4.4. Risultati ottenuti con il modello CSEM per un' arco di tempo di 61 anni e 4 gruppi di alberi.

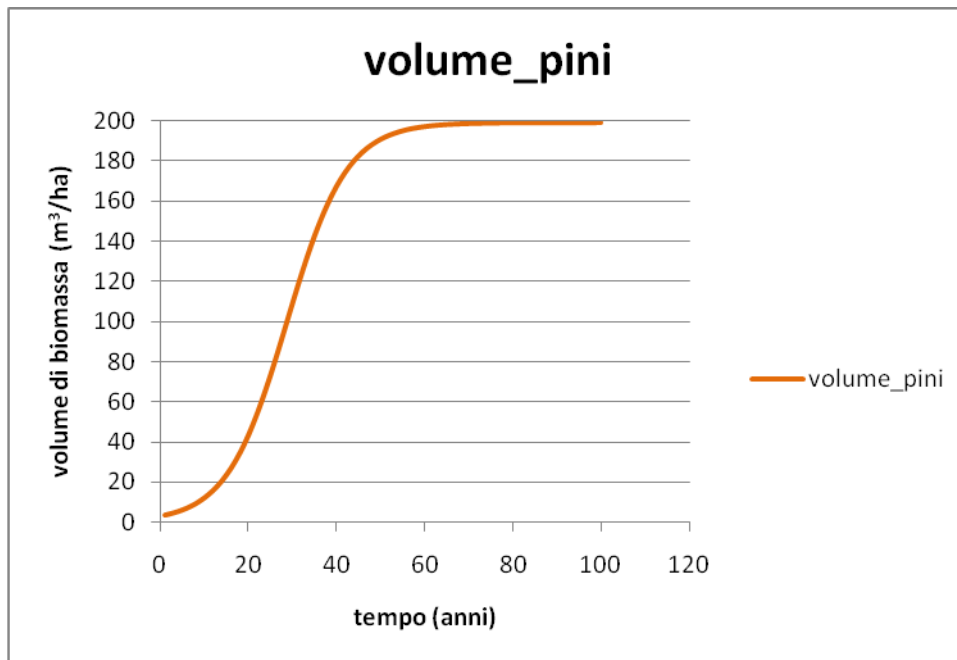


Fig. 4.2. Curva di accrescimento del Pino marittimo.

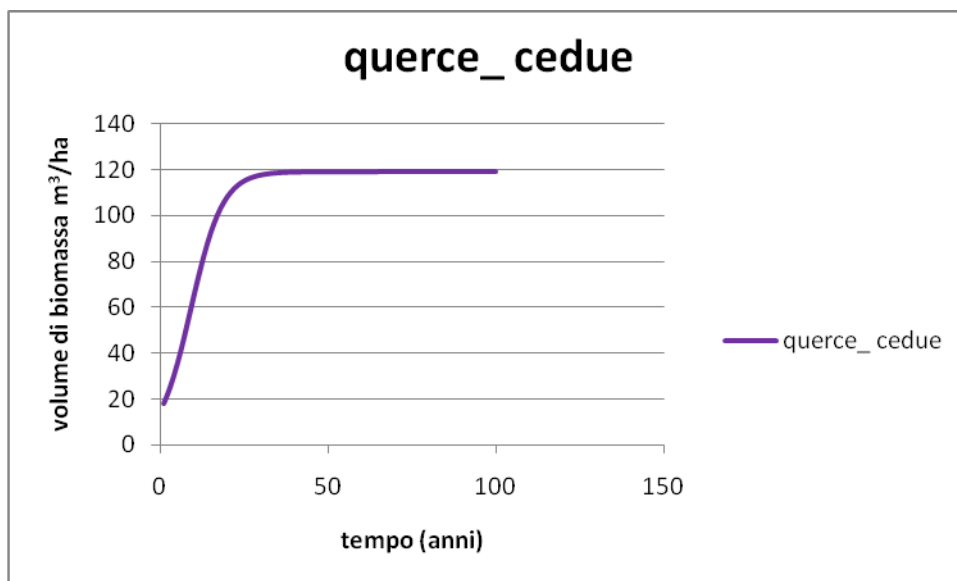


Fig. 4.3 Curva di accrescimento delle querce cedue.

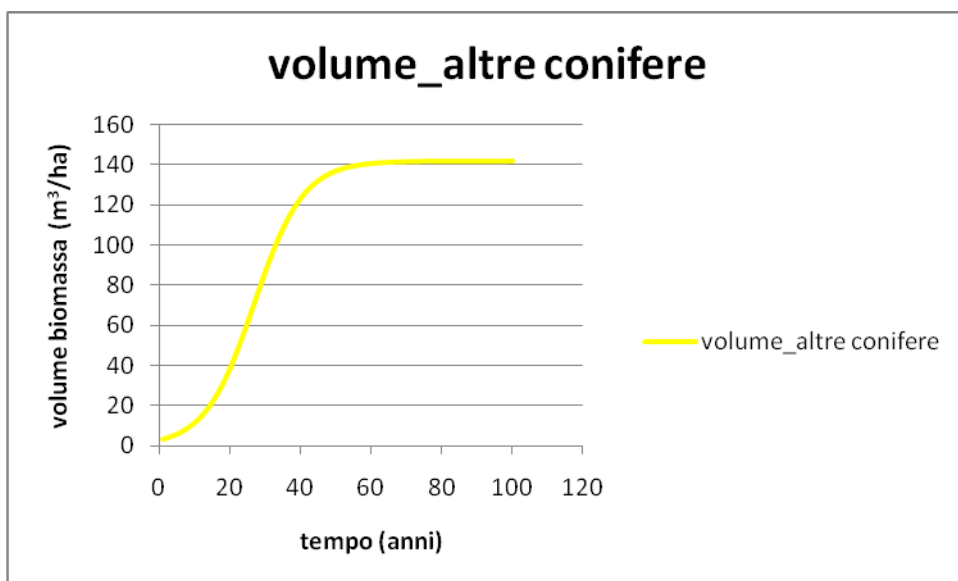


Fig. 4.4. Curva di accrescimento della specie "altre conifere".

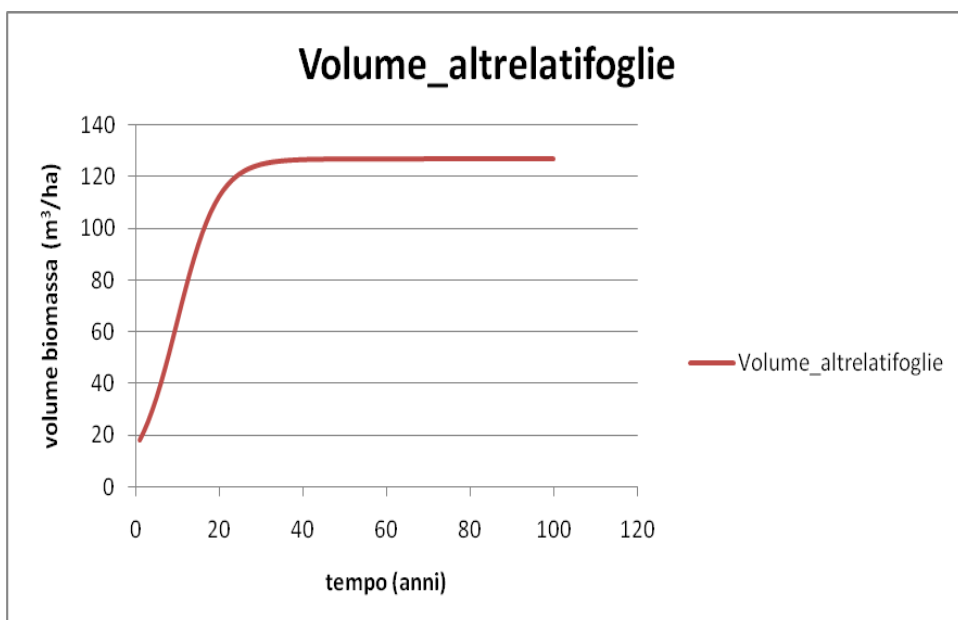


Fig. 4.5 curva di accrescimento della specie "altre latifoglie".

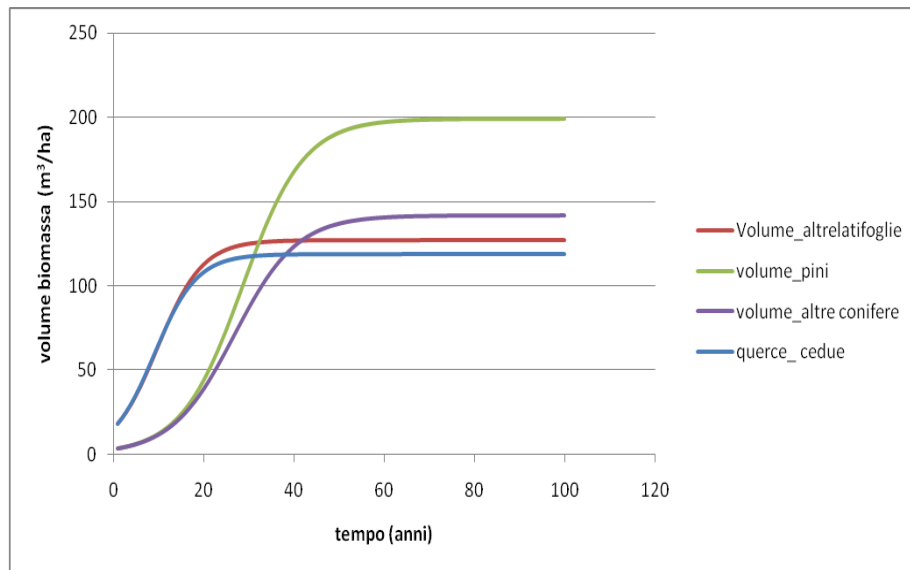


Fig. 4.6 Confronto tra curve di accrescimento delle specie considerate.

Dai grafici ottenuti, nell'arco di tempo di 100 anni si nota come il punto di flesso varia al variare delle specie Fig. 4.6.

Il punto di flesso indica la fine della fase di crescita e massimo stoccaggio e l'inizio della fase matura di equilibrio.

Per i pini marittimi e le altre conifere il punto di flesso si aggira intorno ai 50 anni, mentre per le querce e "altre latifoglie" il punto di flesso è inferiore e si aggira attorno a 20 anni. un'altra differenza tra le due specie principali, conifere e latifoglie è il volume di accrescimento.

Le conifere mostrano una crescita maggiore in volume, raggiungendo valori più alti rispetto a quelli delle latifoglie. Il valore massimo lo raggiunge il pino, che nel tratto finale della sua curva raggiunge un massimo di volume di circa 200 m³/ha in 60 anni. le latifoglie invece hanno un andamento meno esponenziale nel tratto iniziale della curva e raggiungono in 30 anni il volume massimo di accrescimento, tra i 115 e i 125 m³/ha.

Quindi possiamo dividere le due specie in rapido e lento accrescimento. Le conifere hanno un lento accrescimento iniziale ma la loro capacità di crescita è maggiore mentre le latifoglie raggiungono un massimo nei primi tempi di accrescimento per poi arrestarsi e mantenere costante l'andamento.

Si può perciò applicare ai dati ottenuti la relazione tra CO₂ stoccata per m³ di legno fresco.

Sapendo che 1 m³ di legno fresco immagazzina 1,19 ton di CO₂ dall'atmosfera in 15 anni (ISPRA, 2002) e conoscendo che in 15 anni i volumi delle specie considerate sono riportate nella tabella sottostante, Tab. 4.5. Volendo stoccare una quantità media di CO₂ attuale nell'area di 75000 t/a posso calcolare gli ettari necessari nell'arco di 15, 30 e 60 anni (Tab. 4.6). Per comodità riporto i risultati per t = 30 anni

Tempo (anni)	ton/m ³ latifoglie	ton /m ³ pini	ton/m ³ conifere	Ton/m ³ querce
1	21.5	4.0	4.0	21.7
2	25.6	4.6	4.6	25.9
3	30.2	5.3	5.3	30.6
4	35.3	6.1	6.0	36.0
5	41.1	7.1	6.9	41.9
6	47.4	8.2	8.0	48.4
7	54.2	9.4	9.1	55.3
8	61.4	10.8	10.5	62.6
9	68.9	12.5	12.0	70.0
10	76.5	14.3	13.7	77.5
11	84.1	16.4	15.6	84.8
12	91.5	18.8	17.7	91.8
13	98.6	21.5	20.2	98.4
14	105.3	24.6	22.9	104.4
15	111.5	28.0	25.9	109.9
16	117.1	31.8	29.2	114.8
17	122.1	36.1	32.8	119.1
18	126.6	40.9	36.8	122.8
19	130.5	46.1	41.1	126.0
20	133.8	51.8	45.8	128.7
21	136.7	58.0	50.7	131.0
22	139.1	64.6	56.0	132.9
23	141.2	71.8	61.5	134.4
24	142.9	79.3	67.2	135.8
25	144.3	87.3	73.1	136.8
26	145.5	95.5	79.2	137.7
27	146.5	104.0	85.2	138.4
28	147.3	112.6	91.3	139.0
29	148.0	121.3	97.3	139.5
30	148.6	130.0	103.2	139.9

Tab. 4.5 volumi di accrescimento dei quattro gruppi di alberi considerati per un arco di tempo di 30 anni.

Tempo (anni)	Ettari Di Latifoglie	Ettari Di Pini	Ettari Di Conifere	Ettari Di Querce
1	3479	18805	18878	3458
2	2933	16278	16406	2901
3	2488	14096	14265	2450
4	2123	12212	12411	2085
5	1826	10586	10806	1789
6	1583	9182	9417	1549
7	1384	7970	8213	1355
8	1222	6924	7171	1198
9	1089	6021	6269	1071
10	980	5241	5488	968
11	892	4568	4811	885
12	820	3987	4226	817
13	760	3485	3718	762
14	712	3052	3279	718
15	673	2678	2899	682
16	640	2355	2570	653
17	614	2076	2285	630
18	592	1836	2038	611
19	575	1628	1824	595
20	560	1449	1639	583
21	549	1294	1479	573
22	539	1160	1340	564
23	531	1045	1220	558
24	525	946	1116	552
25	520	860	1026	548
26	515	785	948	545
27	512	721	880	542
28	509	666	821	539
29	507	618	771	538
30	505	577	727	536

Tab. 4.6 risultati ottenuti dal calcolo di ettari necessari per immagazzinare la CO₂ prodotta annualmente nell'area del Quinto Bacino nell'arco di 30 anni.

Considerando i dati ottenuti posso stimare che in 30 anni e in 60 anni di gestione del territorio, gli ettari necessari a seconda della specie scelta per stoccare una quantità di CO₂ che di 75000 ton/a sono riportati in Tab. 4.7:

tempo (anni)	Ettari di Latifoglie	Ettari di Pini	Ettari di Conifere	Ettari di querce
30	505	577	727	536
60	496	319	447	529

Tab. 4.7 Ettari di vegetazione da piantare in 30 o 60 anni.

4.3 Carbonio Organico nel suolo

Il metodo WB fornisce una stima del contenuto di C organico. È un metodo meno accurato e preciso del metodo Springer- Klee (1954), altro metodo spesso utilizzato per lo stesso scopo. abbiamo ritenuto efficace utilizzare WB per La natura dei miei campioni, in cui le varie profondità di suolo risultano mischiate e per avere una stima del C organico da confrontare con quello della Regione,.

Campione	Luogo prelievo	TOC- WB (g/kg)	% TOC medio
Pin. Ramazz. 1	Pineta Ramazzotti	4,60	0,48
Pin. Ramazz. 2		5,18	
Pin. Ramazz. 3		4,74	
MC3-1	Classe	21,30	1,96
MC3-2		14,03	
MC3-3		23,35	
MC4-1	Bevano	9,97	1,04
MC4-2		11,30	
MC4-3		9,93	
MC5-1	Pineta di Classe	7,80	0,76
MC5-2		7,48	
MC5-3		7,66	
MC6-1	Lido di Dante	6,27	0,69
MC6-2		6,44	
MC6-3		7,86	
MC7-1	Classe	11,06	1,13
MC7-2		11,71	
MC7-3		11,24	
MC8-1	Madonna dell'albero	8,97	0,90
MC8-2		8,89	
MC8-3		9,09	
MC9-1	Fosso ghiaia	6,33	0,58
MC9-2		5,65	
MC9-3		5,27	
MC10-1	S. Bartolo	6,48	0,72
MC10-2		8,01	
MC10-3		7,07	
MC11-1	Carraie	9,16	0,94
MC11-2		9,51	
MC11-3		9,58	

Tab. 4.8. Risultati ottenuti dal metodo Walkley-Black.

I risultati ottenuti in Tab. 4.8 rispecchiano quello che ci aspettavamo, a parte i valori della Pineta Ramazzotti (Pin. Ram) che risultano bassi

rispetto a quelli che ci si può attendere nel suolo di una pineta. Questo è dovuto alla recente piantumazione della pineta che risale all'inizio del secolo scorso, perciò ci troviamo di fronte ad un suolo ancora giovane che si sta sviluppando. La carenza di C organico è dovuto all'età del suolo e non alle lavorazioni che interessano l'area agricola del Quinto Bacino. I risultati quindi sono tra loro simili ma le ragioni diverse. Questo mi permette di concludere che nonostante il suolo sia un di magazzino per la CO₂ questo abbia tempi molto lunghi di immagazzinamento e di questo bisogna tenere conto in fase di gestione del territorio.

Organic Elemental Analyzer Flash 2000

Prima di analizzare i campioni, lo strumento è stato avvinato con l'introduzione di O₂ e uno standard Cysteina (riga 1 e 2 della Tab. 4.9). Una volta preparato lo strumento si è costruita la curva di calibrazione utilizzando diverse aliquote standard di Cysteina (righe da 3 a 7 della Tab. 4.9)

Posizione campionatore	Campione	Nome campione	N g/kg	C g/kg	H g/kg	S g/kg
1	ossigeno	O2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Cystine	Cystine	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	Cystine	Cystine 1	11.6600	29.9900	5.0300	26.6900
4	Cystine	Cystine 2	11.6600	29.9900	5.0300	26.6900
5	Cystine	Cystine 3	11.6600	29.9900	5.0300	26.6900
6	Cystine	Cystine 4	9.5705	29.8044	4.9599	26.6426
7	1	Cystine 5	0.1459	0.9593	0.0000	0.0198

Tab. 4.9. Risultati dell'avvinamento dello strumento.

Qui sotto sono riportati i risultati come l'interfaccia del software Eagler Flash 2000 li riporta (Tab. 4.10).

Posizione campionatore	Numero campione	Nome campione	N g/kg	C g/kg	H g/kg	S g/kg
8	1	MC11-2	0.1467	1.0598	0.0000	0.0000
9	2	MC 11-3	0.1144	0.8418	0.0000	0.0000
10	3	MC5-1	0.1361	0.8821	0.0000	0.0000
10	4	Cystine 8	0.1361	0.8821	0.0000	0.0000
11	5	MC5-3	1.0436	0.8800	0.0000	0.0000
12	6	MC10-2	0.1674	1.1196	0.0000	0.0000
13	7	Pin ram 1	0.0886	0.6378	0.0000	0.0000
14	8	Pin ram 2	0.0786	0.5399	0.0000	0.0000
21	Cystine	Cystine 9	23.3894	61.0238	10.7483	53.3342
29	9	Pin ram 3	0.7706	0.5874	0.0000	0.0000
30	10	MC3-1	0.1481	1.7711	0.0000	11.2726
31	11	MC3-2	0.7015	1.6978	0.0000	0.0000
32	12	MC3-3	0.3666	2.4858	0.0000	19.5652
33	13	MC4-1	0.5867	1.2017	0.0000	1.9449
34	14	MC4-2	0.7035	1.1711	0.0000	12.7387
35	15	MC4-3	0.7368	1.0818	0.0000	2.1451
36	16	MC5-2	0.0921	0.9168	0.0000	12.8152
37	17	MC6-1	0.7936	0.9173	0.0000	0.0000
38	18	MC6-3	0.7840	0.9335	0.0000	3.8925
39	19	MC7-2	0.8757	1.3225	0.0000	18.3096
40	20	MC7-1	0.7021	1.3536	0.0000	0.0000
41	21	MC7-3	0.8636	1.4081	0.0000	0.0000
42	22	MC8-2	0.8713	1.1000	0.0000	0.0215
43	23	MC8-1	0.3301	1.0391	0.0000	24.4912
44	25	MC9-1	0.1586	0.8497	0.0000	4.1489
45	26	MC9-2	0.1186	0.6275	0.0000	3.0047
46	27	MC9-3	0.0000	0.5959	0.0000	12.8416
47	28	MC11-1	0.1726	1.1555	0.0000	11.5519
48	29	MC10-1	0.1114	0.8786	0.0000	0.6624
49	30	MC10-3	0.0000	1.0282	0.0000	1.8925

Tab. 4.10 Risultati ottenuti con l'analizzatore.

Confronto tra TOC WB e CHNS.

I risultati ottenuti da entrambi i metodi di analisi sono coerenti gli uni con gli altri (Fig. 4.7). In generale si può notare come i risultati del CHNS sono sempre più elevati rispetto a quelli ottenuti dal metodo Walkley Black (WB) (Tab. 4.11 e Fig. 4.8)

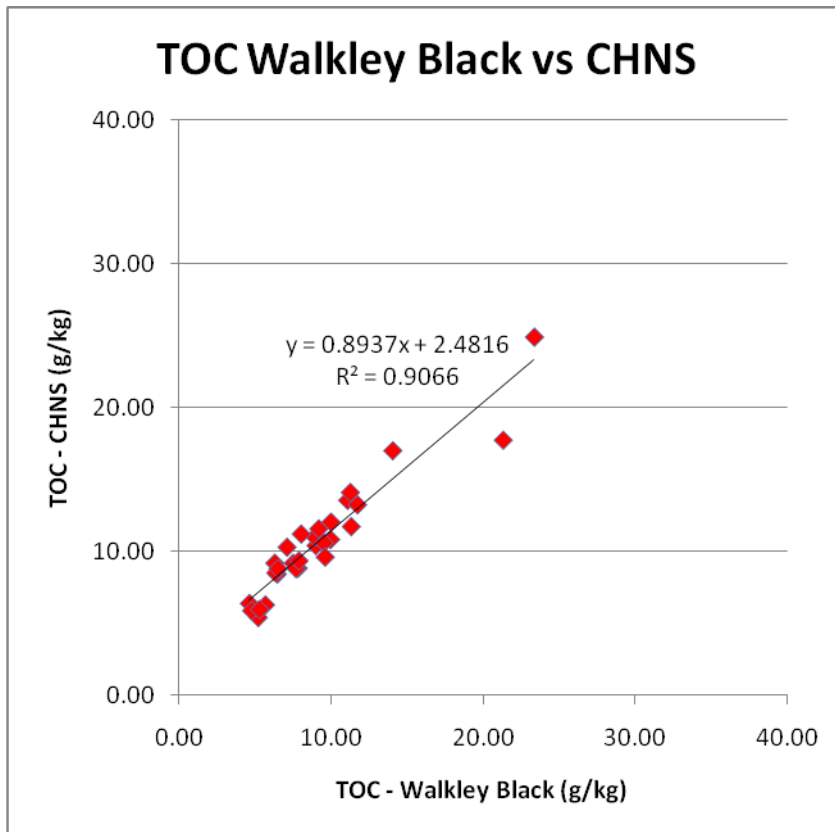


Fig. 4.7 distribuzione dei valori medi ottenuti con entrambi i metodi di analisi.

Dalla figura sopra si può notare come tutti i valori ottenuti dai metodi di analisi si distribuiscano lungo una linea di tendenza pari a $y = 0.8937x + 2.4816$, ad eccezione di 3 valori che si discostano da quest'ultima. Il coefficiente R^2 di 0.9066 e indica l'affidabilità dei metodi a confronto

Campione	TOC-CHNS g/kg	TOC CHNS %media	TOC WB % media
Pin. Ramazz. 1	6,38	0,59	0,48
Pin. Ramazz. 2	5,40		
Pin. Ramazz. 3	5,87		
MC3-1	17,71	1,98	1,96
MC3-2	16,98		
MC3-3	24,86		
MC4-1	12,02	1,15	1,04
MC4-2	11,71		
MC4-3	10,82		
MC5-1	8,82	0,89	0,76
MC5-2	9,17		
MC5-3	8,80		
MC6-1	9,17	0,90	0,69
MC6-2	8,42		
MC6-3	9,33		
MC7-1	13,54	1,36	1,13
MC7-2	13,23		
MC7-3	14,08		
MC8-1	10,39	1,07	0,90
MC8-2	11,00		
MC8-3			
MC9-1	8,50	0,69	0,58
MC9-2	6,27		
MC9-3	5,96		
MC10-1	8,79	1,01	0,72
MC10-2	11,20		
MC10-3	10,28		
MC11-1	11,55	1,06	0,94
MC11-2	10,60		
MC11-3	9,59		

Tab. 4.11 Tabella di confronto tra i risultati ottenuti con i due metodi utilizzati WB Walkley-Black e analizzatore CHNS.

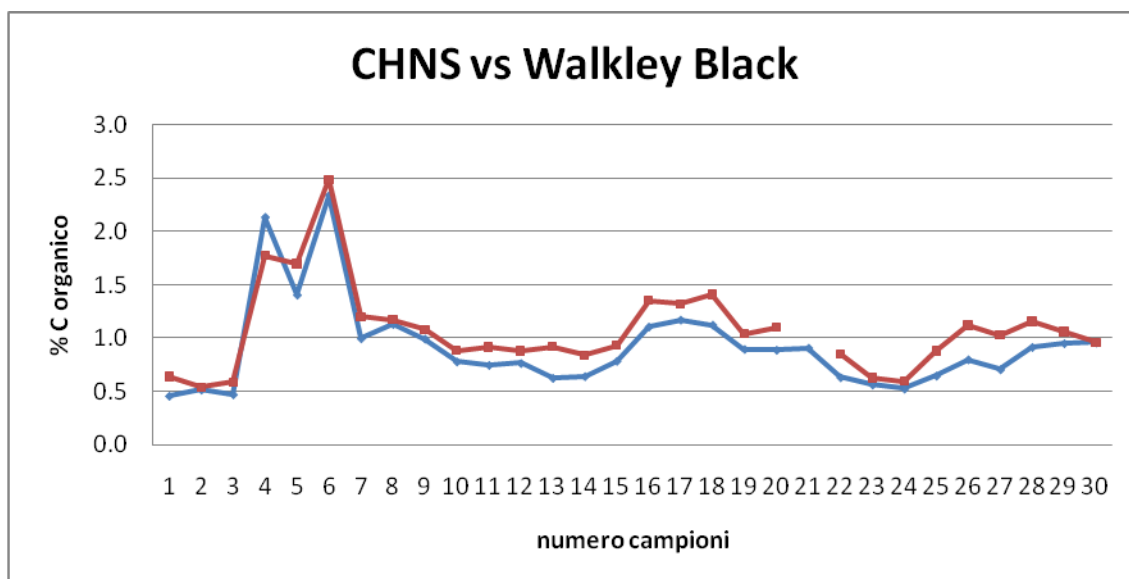


Fig. 4.8 andamento dei risultati ottenuti dai due metodi di analisi. In Rosso metodo CHNS in blu metodo Walkley-Black

Questa differenza, seppur minima, può non essere trascurabile per definire la classe di qualità dei suoli. Infatti confrontando i risultati con la tabella di giudizio qualitativo (Tab. 4.12) si può notare che per alcuni campioni la valutazione cambia (Tab. 4.13).

Parametro	C. organico		C. org. valutazione
Unità di misura	%	g kg ⁻¹	
Intervalli di valori	< 0.45	< 4.5	Molto scarso
	0.45 – 0.90	4.5 – 9.0	Scarso
	0.91 – 1.36	9.1 – 13.6	Medio
	1.37 – 1.81	13.7 – 18.1	Elevato
	> 1.81	> 18.1	Molto elevato

Tab. 4.12 Giudizio qualitativo dei suoli. Fonte: MiPAF, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo, 2006.

Campione	TOC% WB	Giudizio	TOC % CHNS	Giudizio
Pin. Ram	0,48	Scarso	0,59	Scarso
MC3	1,96	Molto elevato	1,98	Molto elevato
MC4	1,04	Medio	1,15	Medio
MC5	0,76	Scarso	0,89	Scarso
MC6	0,69	Scarso	0,90	Scarso
MC7	1,13	Medio	1,36	Medio
MC8	0,90	Scarso	1,07	Medio
MC9	0,58	Scarso	0,69	Scarso
MC10	0,72	Scarso	1,01	Medio
MC11	0,94	medio	1,06	medio

Tab. 4.13 tabella di confronto tra risultati e giudizio qualitativo. In giallo sono evidenziati i campioni che differiscono per risultato e giudizio qualitativo.

In generale comunque si nota che i valori cambiano ma rimangono ad eccezione di MC8 e Mc10 all'interno delle classi di qualità.

Per i successivi confronti e calcoli ho ritenuto valido come metodo di analisi quello di laboratorio, Walkley Black, in quanto il metodo CHNS è stato utilizzato per la prima volta con i miei campioni. Questa scelta è stata supportata anche dal fatto che contemporaneamente ai miei campioni sono stati analizzati campioni di suolo provenienti da altre zone in cui oltre al Carbonio è stato analizzato l'Azoto sia con l'analizzatore che con il metodo Springer. I risultati ottenuti dall'analizzatore sia per il carbonio che per l'azoto hanno mostrato valori più alti rispetto al metodo Springer, ma se per il carbonio i valori sono comunque coerenti tra loro, per l'azoto non si può dire lo stesso. Una possibile spiegazione è la procedura di preparazione del campione che con l'utilizzo di HCl può aver influenzato i risultati.

Confronto con i dati della Regione Emilia Romagna

Quest'ultimo confronto mi permette di verificare l'andamento in questi ultimi 30 anni del contenuto di carbonio organico nel suolo legato ai cambiamenti dell'uso del suolo in particolare negli anni 1996, 2002 e 2008.

Qui sotto sono riportati i risultati a confronto. Considerando pari al 58% il contenuto medio di carbonio nella sostanza organica del suolo, è possibile utilizzare il fattore 1.724, fattore Van Bemmelen, per trasformare i g/kg di carbonio nel corrispondente contenuto di sostanza organica (Jackson, 1964) Tab. 4.14.

Campione	Catalogo dei suoli RER - % Sost. organica (anno)	% carbonio organico Walkley Black 2011	Conversione da % C org a % sostanza org.
Pin ram	-	0,48	0.8256
MC3	2.7 (1991)	1,96	3.3712
MC4	2 (1994)	1,04	1.7888
MC5	0.9 (1986)	0,76	1.3072
MC6	1.2 (1987)	0,69	1.1868
MC7	1.1 (1991)	1,13	1.9436
MC8	1.5 (1990)	0,90	1.548
MC9	2.1(1990)	0,58	0.9976
MC10	1.1 (1991)	0,72	1.2384
MC11	2.2 (1989)	0,94	1.6168

Tab. 4.14 Confronto fra la media dei campioni di questo studio con i risultati del campionamento della Regione Emilia Romagna.

I risultati del catalogo dei suoli riportano la percentuale di sostanza organica. Nonostante la conversione è possibile fare un confronto tra i campioni in quanto la valutazione qualitativa proposta dal MiPAF, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo, mette a confronto le classi di qualità di questi due parametri (Tab. 4.15).

Parametro	C. organico		Sostanza organica		Sortanza organica e C. org. valutazione
	%	g · kg ⁻¹	%	g · kg ⁻¹	
Giudizio del riferimento	< 0.45	< 4.5	< 0.78	< 7.8	Molto scarso
	0.45 – 0.90	4.5 – 9.0	0.78 – 1.55	7.8 – 15.5	Scarso
	0.91 – 1.36	9.1 – 13.6	1.56 – 2.34	15.6 – 23.4	Medio
	1.37 – 1.81	13.7 – 18.1	2.35 – 3.12	23.5 – 31.2	Elevato
	> 1.81	> 18.1	> 3.12	> 31.2	Molto elevato

Tab. 4.15 tabella di confronto tra % di C organico e sostanza organica con il giudizio qualitativo associato

Campione	Catalogo dei suoli RER – giudizio	Giudizio -Walkley Black 2011
Pin ram	-	Scarso
MC3	Elevato	Molto Elevato
MC4	Medio	Medio
MC5	Scarso	Scarso
MC6	Scarso	Scarso
MC7	Scarso	Medio
MC8	Scarso	Scarso
MC9	Medio	Scarso
MC10	Scarso	Scarso
MC11	Medio	Medio

Tab. 4.16 Confronto tra i giudizi qualitativi dei campioni raccolti dalla RER e nel 2011.

Come ci si poteva aspettare il contenuto di carbonio organico e sostanza organica non è variato di molto in questo ultimo trentennio (Tab. 4.16, Fig. 4.9, Fig. 4.10). Questo per due principali motivi:

- i cambiamenti nell'uso del suolo non sono stati rilevanti nell'area di studio
- i processi di impoverimento e arricchimento di sostanza organica sono lunghi e difficilmente valutabili nell'arco di tempo da me considerato, nonostante potessero variare l'uso del suolo o altri fattori ambientali.

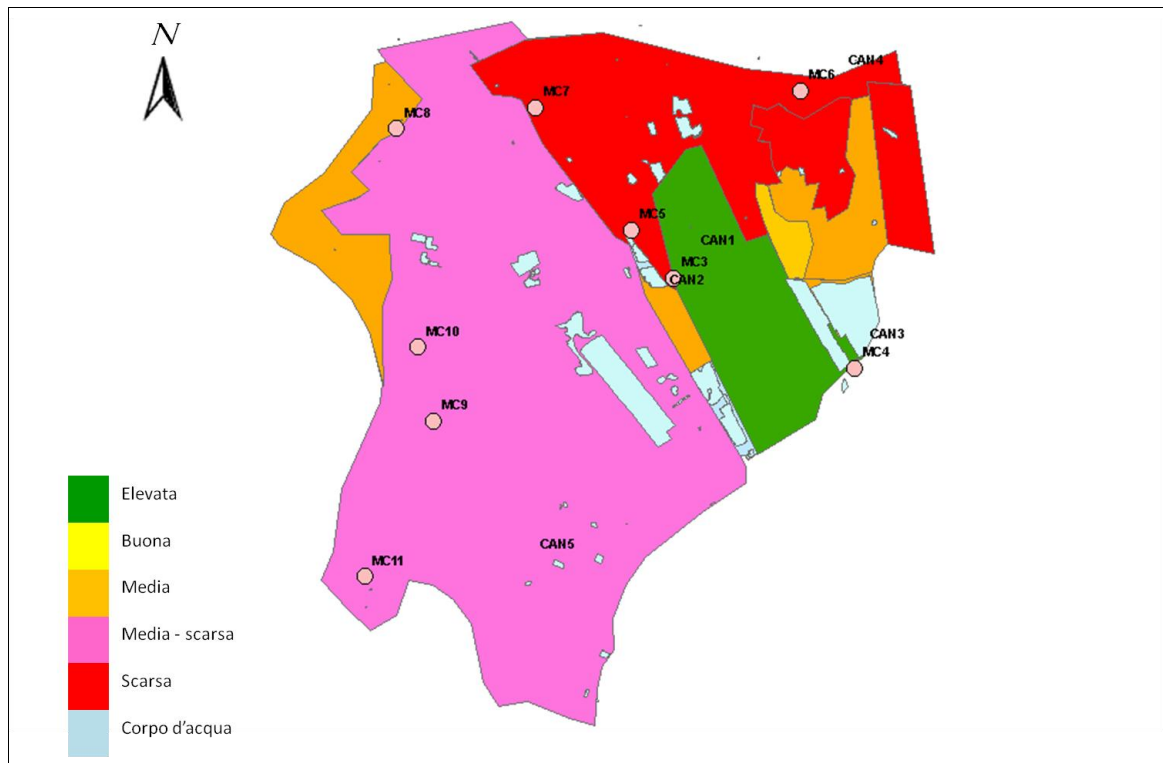


Fig. 4.9 Carta della qualità dei suoli secondo i dati della RER realizzata con ArcGis 9.3.

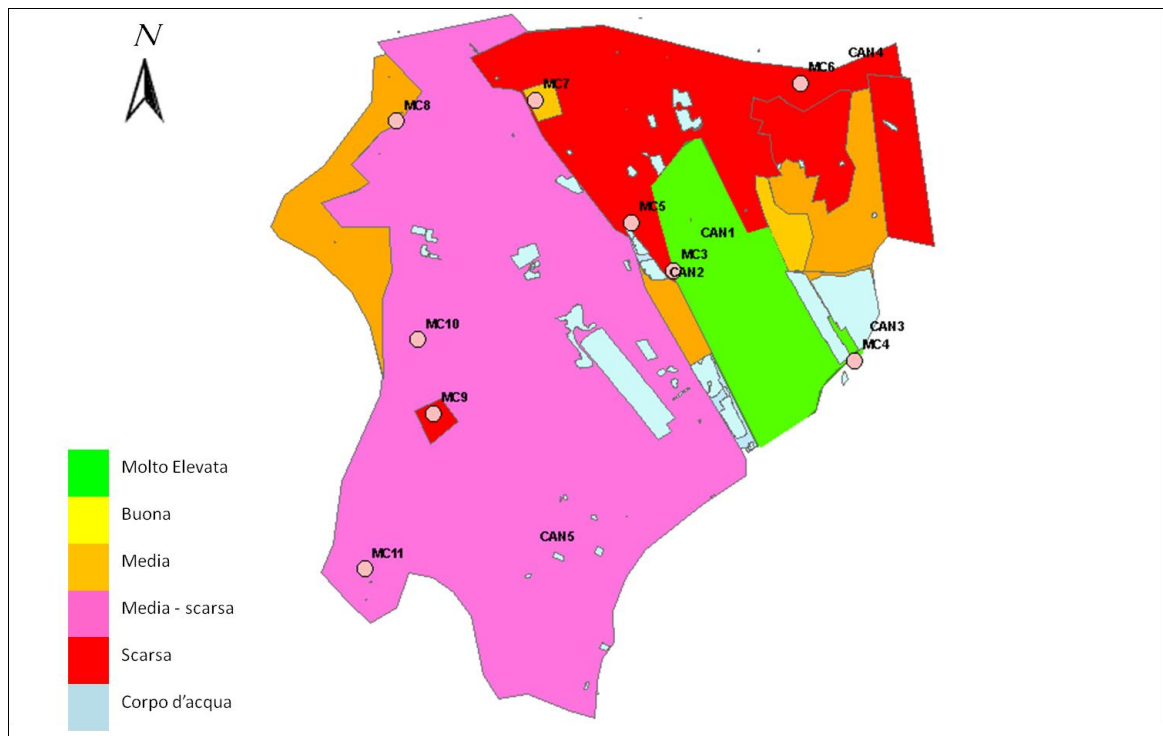


Fig. 4.10 Carta della qualità dei suoli secondo i dati del campionamento del 2011, realizzata con ArcGis 9.3

Al fine di questo lavoro possiamo considerare come riferimento ottimale a cui tendere con la riforestazione il contenuto di carbonio organico della Pineta di Classe , MC3, che presenta i valori più alti tra quelli analizzati.

Per i campioni nella classe “medio” ritroviamo MC4 , MC7 ed MC11 che rispettivamente si trovano nelle aree agricole a sud della Pineta di Classe, Classe e Carraie. Confrontando le proprietà pedologiche e le colture presenti possiamo vedere come le prime abbiano un contenuto basso di sabbia e il suolo sia di tipo franco-limoso. Le colture presenti oggi su questi terreni sono patate per MC7 e piselli per MC11 mentre per MC4 il terreno è incolto. I dati della Tab. 4.17 si riferiscono alle analisi compiute dalla Regione e li ho integrati con i risultati del carbonio organico. Questa tabella permette di vedere come le caratteristiche pedologiche di questi terreni siano simili così come le proprietà chimiche dell'azoto e del calcare (CaCO_3), nonostante la classificazione dei suoli sia diversa (Fase Suolo).

MC11		MC 7		MC 4	
Sabbia (%)	12	Sabbia (%)	6	Sabbia (%)	14
Limo (%)	60	Limo (%)	54	Limo (%)	43
Argilla (%)	28	Argilla (%)	40	Argilla (%)	43
Carbonio organico (%)	0.94	Carbonio organico (%)	1.13	Carbonio organico (%)	1.04
Dati 1989		Dati 1990		Dati 1994	
PH	7,9	PH	8,3	PH	8
Calcare totale (%)	19	Calcare totale (%)	29	Calcare totale (%)	24
Calcare attivo (%)	8	Calcare attivo (%)	14	Calcare attivo (%)	11
Azoto totale (‰)	1,6	Azoto totale (‰)	0,8	Azoto totale (‰)	1,6
Fase suolo	SANT'OMOBONO franca limosa	Fase suolo	Non attribuito (SAVIO)	Fase suolo	Non attribuito (MARCABÒ)

Tab. 4.17 Dati analisi del terreno: MC11, MC7 e MC4.

4.4 Carbonio organico nelle acque

La determinazione del carbonio organico delle acque è risultata complessa per la presenza di cloruri nei campioni prelevati e per la non adeguatezza del metodo di analisi per ossidazione con bicromato di potassio.

Questa prima conclusione si lega al fatto che la maggior parte dei risultati del COD e DOC sono negativi. La negatività dei valori ci ha portato a escludere questi risultati per completare il calcolo del ciclo del carbonio (Tab. 4.18).

Campione	Tipo acqua	Cl- (mg/l)	COD con Cl- (mg/l)	COD netto Cl- (mg/l)	DOC (mg/l)	DOC con Cl- (mg/l)	DOC netto Cl- (mg/l)
CAN1	Falda	5104.8	96.8	-1056.9	-760.9	69.7	-355.7
CAN2	Falda	4785.8	93.0	-988.6	-711.8	66.9	-331.9
CAN 3	Superficiale	4431.3	95.2	-906.3	-652.5	68.5	-300.7
CAN4	Superficiale	35.5	13.7	5.7	4.1	9.9	6.9
CAN 5	Superficiale	230.4	50.5	-1.6	-1.1	36.3	17.1
CAN 6	Superficiale	301.3	65.9	-2.2	-1.6	47.4	22.3
CAN 7	Superficiale	230.4	50.1	-2.0	-1.5	36.0	16.8
Bianco	0						
Bianco'							

Tab. 4.18 Risultati della determinazione del DOC nelle acque.

Dopo aver analizzato i campioni ed aver ottenuto risultati negativi abbiamo valutato con soluzioni standard a concentrazione nota di cloruri l'interferenza nella determinazione del carbonio interferenza (Tab. 4.19).

Stima dell'interferenza dei Cl mediante alcuni standard a concentrazione nota						
		Cl- (mg/l)	Volume essiccato (ml)	K ₂ Cr ₂ O ₇ 1/60 M (ml)	Fe(SO ₄).7H ₂ O (ml)	Interferenza Cl (mg/l)
Standard	0,01 M KCl	354.5	50	10	19.15	48.6
Standard	0,1 M KCl	3545.0	50	10	12.6	579.2
Bianco	0			10	19.75	

Tab. 4.19 Risultati della determinazione dei cloruri in soluzioni standard.

I campioni con valori negativi più alti sono quelli salini, provenienti dai piezometri della Pineta di Classe, CAN1, CAN2 e dal canale Fosso Ghiaia, CAN3, che scorre in mezzo alla pineta di Classe (Tab. 4.20). Nonostante questo accorgimento, la correzione dei risultati ottenuti per questi tre campioni non ci permette di considerarli validi.

Campione	Cl- (mg/l)	COD con Cl- (mg/l)	COD netto Cl- (mg/l)	DOC (mg/l)	DOC con Cl- (mg/l)	DOC netto Cl- (mg/l)
CAN1	5104.8	640.0	-513.7	-369.9	240.0	-185.4
CAN 2	4785.8	877.9	-203.6	-146.6	329.2	-69.6
CAN 3	4431.3	738.5	-263.0	-189.4	276.9	-92.3

Tab. 4.20 Risultati della determinazione del DOC per i campioni di acque con interferenza maggiore dei cloruri

Inoltre, nelle acque la stima del carbonio organico è un processo difficile da quantificare (Materia 2004) e i risultati solitamente sono valori talmente bassi che per il fine di questo lavoro non sarebbero comunque stati significativi.

Le analisi sono state fatte comunque. Questo ha dimostrato come il metodo applicato sia poco adatto sia per campioni che hanno una salinità alta che per acque dolci.

Infine conoscendo i valori della portata dei corsi principali, fiumi Uniti e torrente Bevano, ho calcolato la quantità di C organico trasportato nelle acque per poter chiudere il ciclo del C.

Sapendo che (RER,2003):

- per il torrente Bevano la portata media è 1.5 m³/s e il contenuto di C è 17,1 mg/l;
- per i fiumi Uniti la portata media è di 10 m³/s e il contenuto di C è di 22,3 mg/l

risulta che la quantità di C al m³/a è :

- per il torrente Bevano, 0.8 t/a
- per i fiumi Uniti, 7 t/a .

Infine conoscendo la lunghezza , larghezza e profondità (RER,2003) dei corsi d'acqua posso stimare la quantità di C organico presente all'interno del volume d'acqua (Tab. 4.21):

	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Profondità (m)	Tot kg di C organico
Fiumi Uniti	12000	30	3	18
Bevano	12000	10	2	4

Tab. 4.21 Stima della quantità di C organico in Kg nell'intero corso d'acqua del torrente Bevano e fiumi Uniti.

4.5 WATER_DST

I risultati ottenuti dalle analisi del contenuto di carbonio organico nel suolo li ho inseriti nel WATER_DST. Questo mi ha permesso di visualizzare le zone con carbonio organico scarso così da considerarle come aree per possibili interventi per la riforestazione.

Dal foglio "Legend" del workbook ho individuato le sigle (Tab. 4.22) da inserire nella formula di calcolo per il Carbonio

Uso del suolo	Sigla	colore
Forestry production area	1	green
Horticulture and fruit area	2	orange
Agricultural area (irrigated)	3	yellow
Mineral extraction sites	4	red
Natural area	5	light green
Urban area	6	tan
Water areas	7	blue
Wetlands	8	cyan

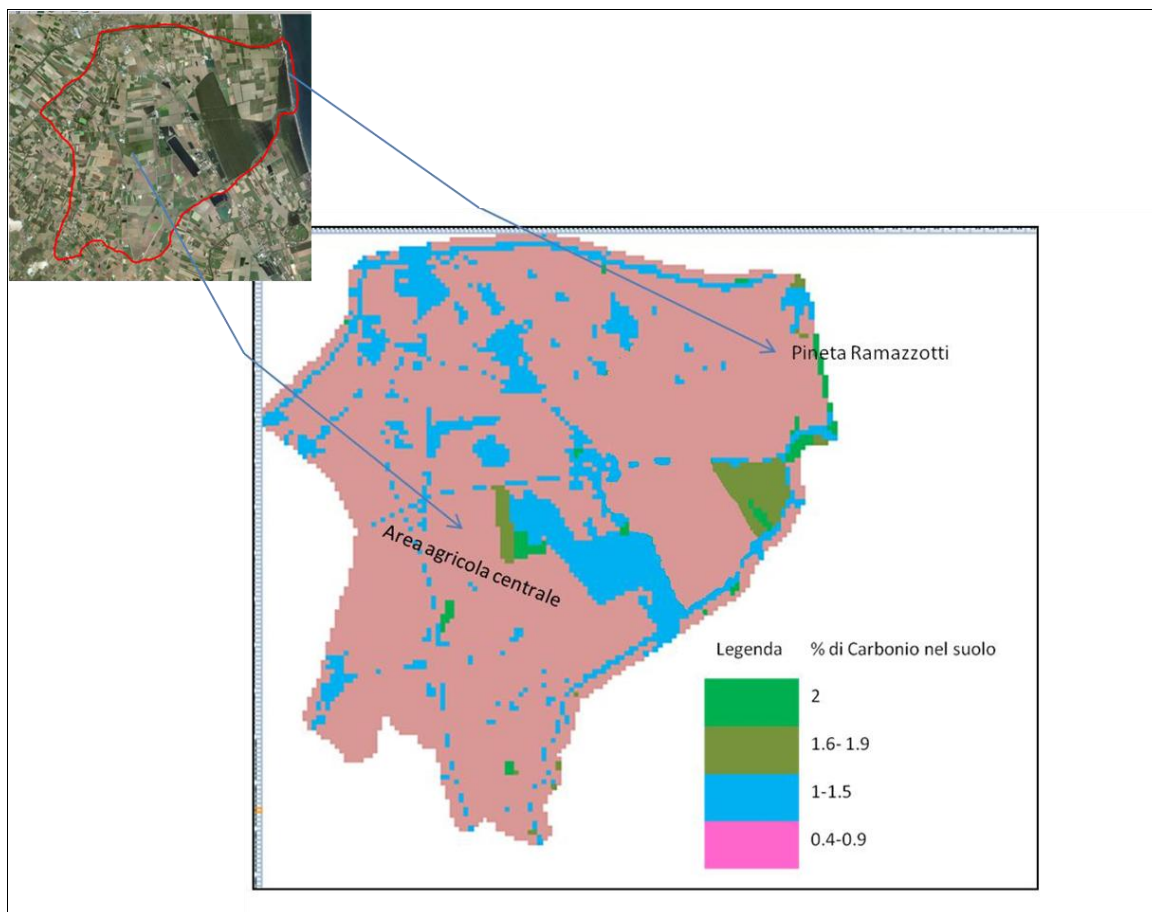
Tab. 4.22 legenda della carta dell'uso del suolo per il modello WATER_DST.

Ad ogni uso del suolo, rappresentato graficamente nel Foglio "Landuse_100" del workbook associa il valore del carbonio che ho ottenuto dalle mie analisi e dove non disponibile dai dati sul sito della Regione Emilia-Romagna.

La formula utilizzata nel nuovo foglio "Carbonio" è la seguente:

=SE(landuse_100!A1=1;2;SE(landuse_100!A1=2;0.5;SE(landuse_100!A1=3;0.5;SE(landuse_100!A1=4;0.1;SE(landuse_100!A1=5;2;SE(landuse_100!A1=6;0.1;SE(landuse_100!A1=7;0.1;SE(landuse_100!A1=8;1;))))))

In tal modo ho ottenuto la seguente carta Fig. 4.11:



Come si può notare dalla figura l'area occupata dall'attuale Pineta Ramazzotti e dalla Pineta di Classe hanno lo stesso colore dell'area agricola centrale che indica uno scarso contenuto di C organico nel suolo.

Infine ho utilizzato questo strumento per rappresentare gli scenari IPCC A1b e A2 introdotti nel paragrafo "uso del suolo futuro". Nella Tab. 4.23 sono riportate le percentuali di uso del suolo attuale e quello previsto dagli scenari IPCC calcolate da Antonellini et al (2011).

	Uso attuale	A1b "green planning"	A1b "grey planning"	A2 "green planning"	A2 "grey planning"
Uso del suolo	% uso	% uso	% uso	% uso	% uso
Forestale	10%	23%	10%	20%	10%
Colture permanenti	4%	3%	4%	3%	3%
Seminativi	66%	51%	64%	51%	53%
Cave	1%	1%	2%	1%	10%
Aree naturali	2%	3%	2%	3%	1%
Urbano	8%	10%	10%	13%	13%
Acque	7%	4%	7%	4%	7%
Zone umide	2%	5%	2%	5%	2%

Tab. 4.23 Percentuali uso del suolo stimate per gli scenari IPCC.

Ad ogni percentuale sono associati gli ettari da aggiungere o togliere a seconda della variazione dell'uso del suolo nell' arco di tempo dal 2011 al 2100.

Nella Tab. 4.24 riporto gli ettari delle classi di uso del suolo attuale e futuri che verranno utilizzati per rappresentare con le carte i cambiamenti dell'area di studio. A fianco di ogni scenario ho calcolato la quantità di ettari da aggiungere o togliere per gli scenari considerati. In rosso sono riportati gli ettari persi in blu da aggiungere dal 2011 al 2100.

	Uso attuale	A1b "green planning"	A1b "grey planning"	A2 "green planning"	A2 "grey planning"
Uso del suolo	Ettari	Ettari	Δ Ettari	Δ Ettari	Δ Ettari
Forestale	1048	2373	1325	0	1022
Colture permanenti	446	345	-101	-16	-98
Seminativi	6823	5279	-1544	-243	-1496
Cave	84	97	13	123	45
Aree naturali	157	355	198	0	153
Urbano	877	1013	136	136	469
Acque	688	363	-325	0	-325
Zone umide	236	534	298	0	230

Tab. 4.24 Confronto degli ettari per classe d'uso del suolo e scenario. In rosso e blu sono evidenziati gli ettari persi o aggiunti nel 2100.

Le carte in Fig. 4.12, Fig. 4.13, Fig. 4.14, e Fig. 4.15 sono quattro ipotetiche rappresentazioni di uso del suolo che ho realizzato seguendo alcune ipotesi:

- per ogni uso del suolo che dal 2010 al 2100 prevede un aumento in percentuale ho distribuito gli ettari relativi partendo dalle aree con lo stesso uso dove possibile senza creare nuove aree.
- Per l'uso urbano ho ampliato i centri urbani già presenti in direzione radiale. Per uso urbano si intendono anche aree destinate all'uso industriale e produttivo.
- Per l'uso forestale ho considerato che per entrambi gli scenari di "*Green Planning*" che prevedono un aumento notevole della superficie forestale, oltre 1000 ettari, si può sviluppare attorno ai centri urbani. Questo perché ho considerato che già attualmente a livello comunale ci sono progetti di "*urban forestry*" che hanno come scopo il rendere più verdi le nostre città e ne ho rappresentato una possibile previsione di sviluppo. Inoltre ho effettuato il cambiamento ad uso forestale intorno alle aree naturali già presenti o previste.
- Per le aree umide ho previsto un ampliamento notevole nella zona interna al Quinto Bacino dove è presente un'area depressa con la falda poco profonda e quindi facilmente trasformabile in area umida.
- Una nota particolare è per lo scenario *A2 Grey Planning* dove il cambiamento di uso del suolo principale è l'uso estrattivo a scapito delle aree agricole seminative e arboree. Questo forte aumento non è facile da rappresentare in un'area occupata principalmente da aziende agricole e in presenza di aree naturali protette a livello europeo anche perché è associato ad una conseguente espansione urbana.

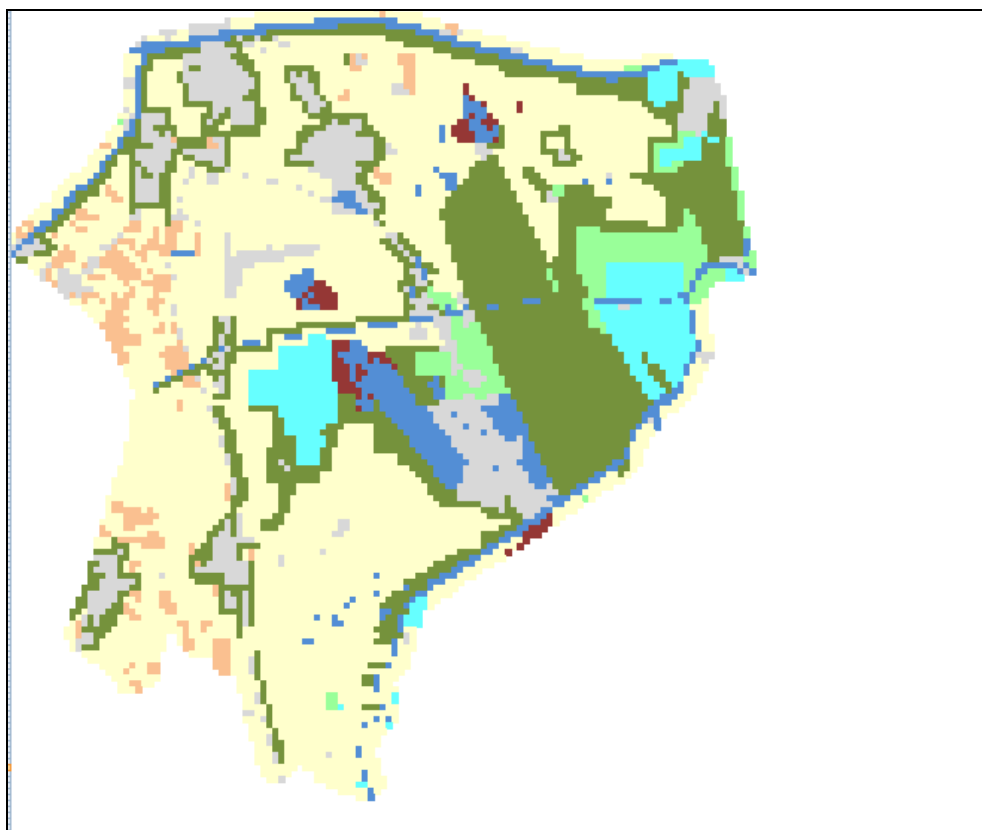


Fig. 4.12 Ipotesi di Scenario A1b *Green-Planning*.

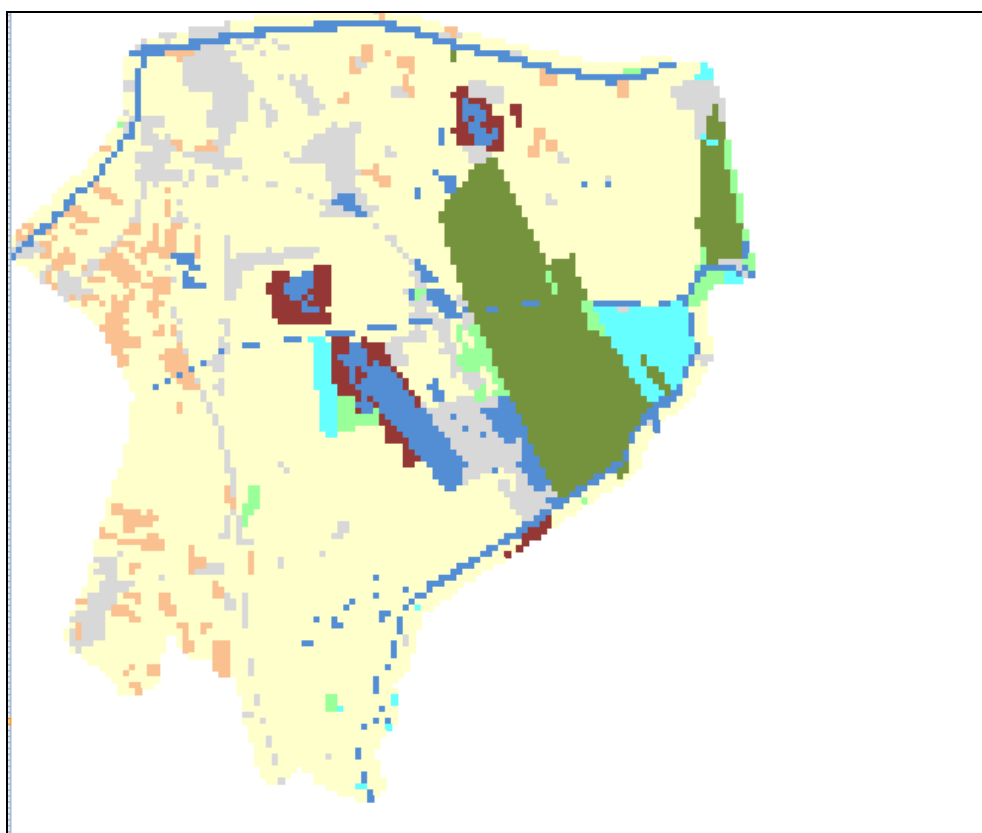


Fig. 4.13 Ipotesi di Scenario A1b *Grey Planning*.

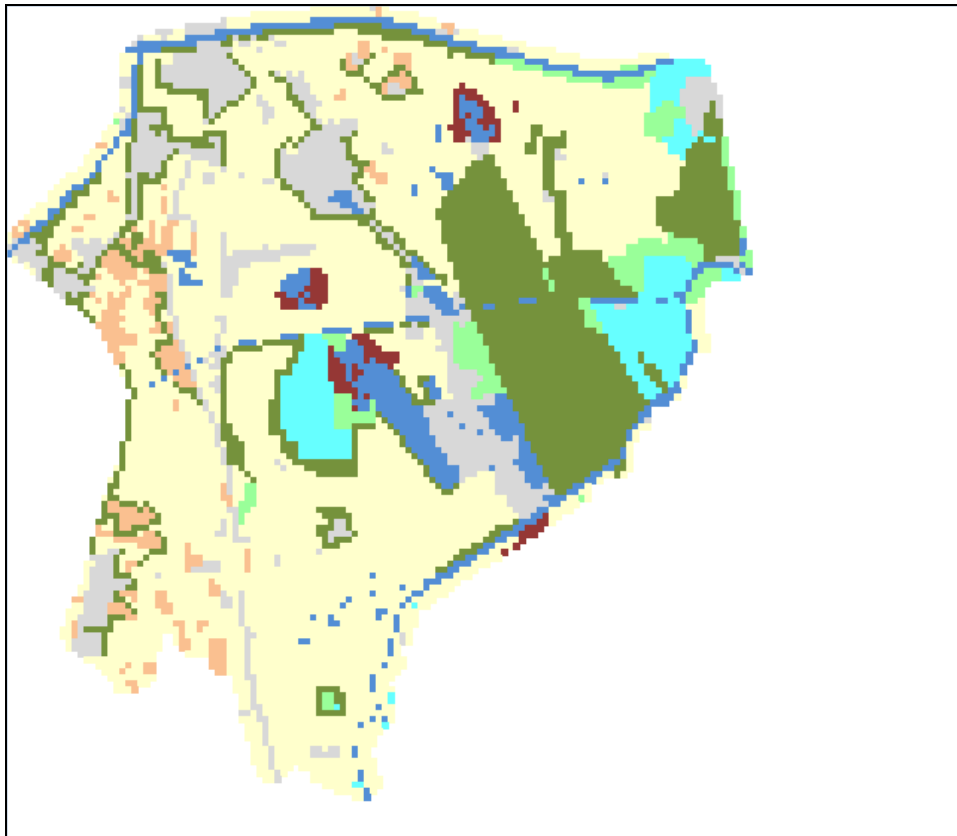


Fig. 4.14 Ipotesi Scenario A2 *Green Planning*.

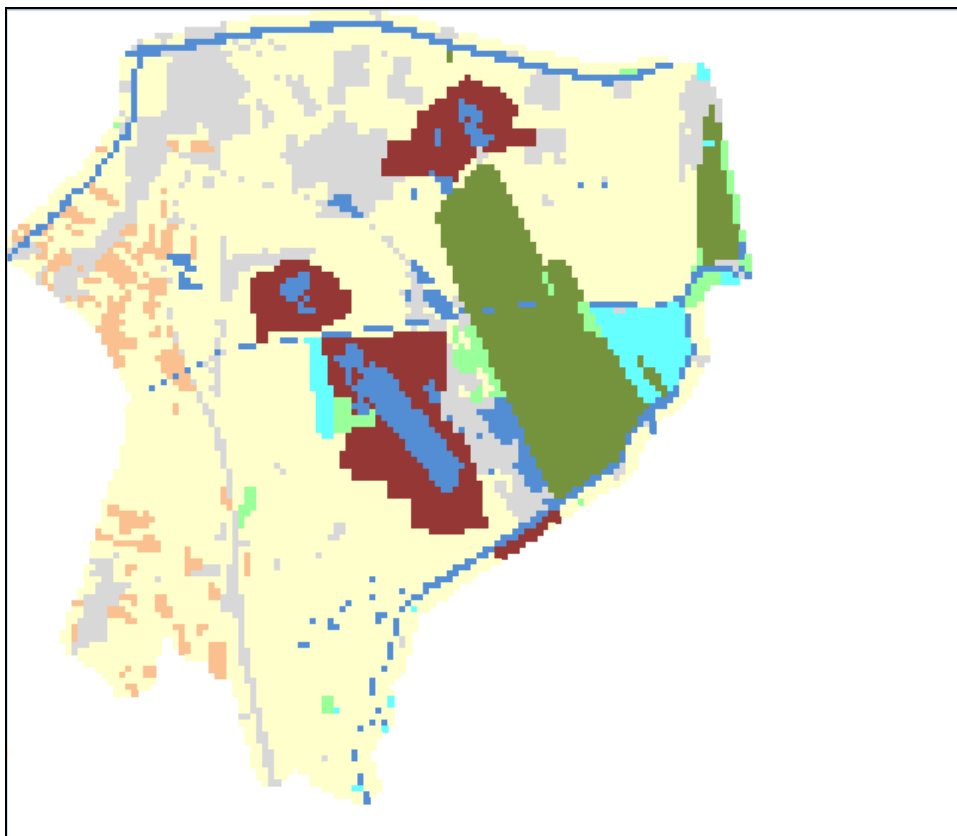


Fig. 4.15 Ipotesi di Scenario A2 *Grey Planning*.

Infine ho realizzato una carta di uso del suolo in cui è presente la riforestazione per contrastare le emissioni attuali stimate per il Quinto Bacino. Dai risultati del modello CSEM gli ettari necessari sono compresi tra i 500 e 600 a seconda della specie piantata.

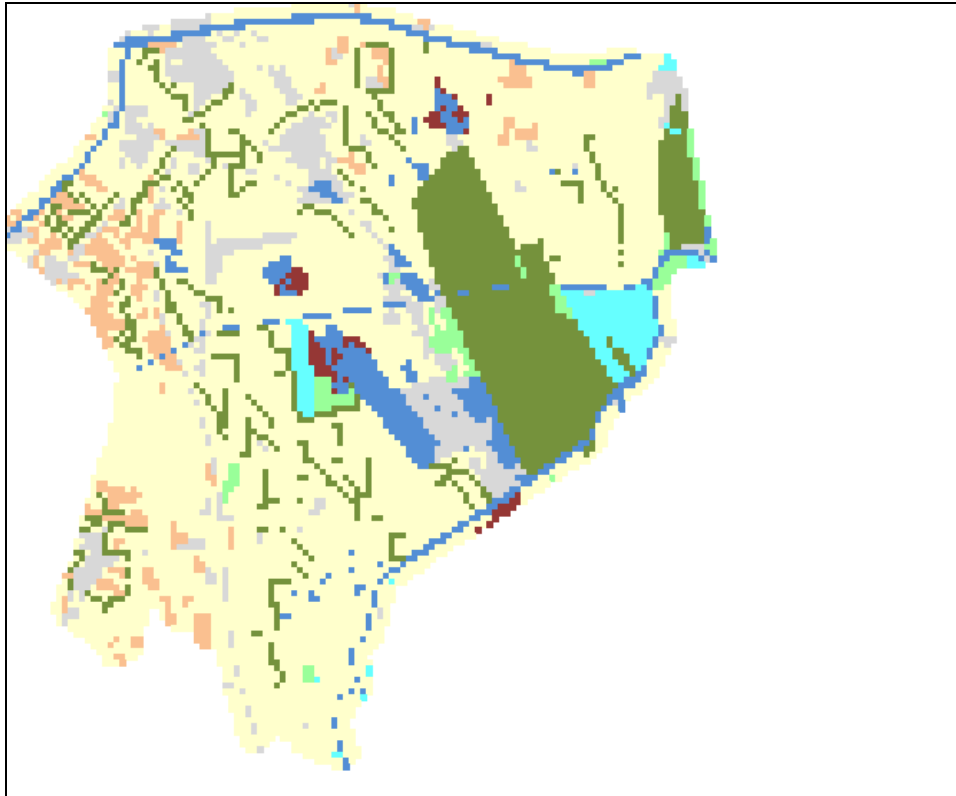


Fig. 4.16 Ipotesi di riforestazione per contrastare le emissioni attuali di CO₂

La disposizione spaziale delle specie forestali le ho aggiunte principalmente nelle aree ad uso seminativo e comprese tra aree a coltura permanente e urbana. Non ho considerato un'espansione delle pinete già esistenti come ho fatto per gli scenari IPCC per il 2100 in quanto l'obiettivo di questo lavoro è ricreare mosaici e corridoi ecologici all'interno delle aree agricole seminative e permanenti.

Un ulteriore calcolo effettuato con il WATER DST è il carbonio totale immagazzinato nel suolo e nelle acque negli scenari futuri dell'IPCC e di riforestazione. I totali possono essere confrontati con il totale di carbonio

attuale per individuare quale scenario ipotizzato è in grado di immagazzinare la CO₂ atmosferica stimata per l'area (Tab. 4.25).

Scenario	Carbonio organico (t)
Attuale 2010	659 x 10 ³
A1b "green planning" 2100	738 x 10 ³
A1b "grey planning" 2100	644 x 10 ³
A2 "green planning" 2100	698 x 10 ³
A2 "grey planning" 2100	585 x 10 ³
Ipotesi riforestazione 2050	729 x 10 ³

Tab. 4.25 Calcolo del carbonio organico nel suolo con WATER_DST.

Capitolo 5 Discussione dei risultati e considerazioni finali

Il confronto storico dei cambiamenti dell'uso del suolo del quinto bacino mostra come le aree urbane dal 1954 al 2008 siano aumentate rispettivamente dal 2.7 % al 9.4 % comprendendo anche la diffusione di aree estrattive e industriali. Dal 1954 al 1994 l'uso urbano è raddoppiato raggiungendo 5.5 % e dal 1994 al 2008, l'uso urbano è cresciuto dal 5.5 % al 9.4% raddoppiando in soli 14 anni. Questo aumento di uso urbano è avvenuto a scapito dell'uso seminativo che dal 1954 al 2008 è diminuito di quasi il 20 % passando dal 83.4% al 65.8% . E' rimasto pressoché invariato l'uso forestale e le aree naturali. Se da una parte l'area forestale si è ridotta di alcuni ettari a est della pineta di Classe e a sud della foce dei Fiumi uniti, sono aumentate le aree naturali comprese le zone umide che hanno rimpiazzato l'area pinetale persa.

Dai dati provenienti dal Progetto NINFA Extend della Regione Emilia Romagna ho stimato la CO₂ emessa all'interno dell'area di studio da fonti antropiche quali traffico veicolare, altre sorgenti mobili come la rete ferroviaria e agricoltura .A seconda dell'estensione considerata risulta che per la Provincia di Ravenna le emissioni per questi macrosettori sono di 1322×10^3 t/a , per il Comune di Ravenna sono di 464×10^3 t/a mentre per il Quinto Bacino sono comprese tra 73.2×10^3 t/a e 77.3×10^3 t/a. in media perciò le emissioni da contrastare con la riforestazione sono di 75×10^3 t/a.

Per effettuare la riforestazione dal modello CSEM risulta che il volume di legno che stocca la CO₂ varia secondo la specie da piantare e dall'arco di tempo considerato. a seconda dalla curva di accrescimento ottenuta si può parlare di specie a rapido o lento accrescimento. Per le specie considerate "Altre latifoglie" e le "Querce cedue" , queste sono a rapido accrescimento mentre il Pino e le "Altre conifere" sono a lento accrescimento. Risulta infatti che le latifoglie e querce cedue raggiungono 112 e 108 m³/ettaro in 20 anni mentre pini e altre conifere 43 e 38 m³/ettaro nello stesso periodo. i

punti di flesso che corrispondono alla fine della fase di maggior vigore e l'inizio della fase matura le altre latifoglie e le querce cedue lo raggiungono in 20 anni e a 18, mentre per i pini e altre conifere in 43 e 41 anni.

Dal modello CSEM quindi il tasso di riforestazione utile per contrastare la CO₂ emessa all'interno del Quinto Bacino per un arco di tempo di 30 anni risulta essere: per le latifoglie gli ettari necessari sono 505, per il Pino spp. sono 577, per le altre conifere sono 727 ettari mentre per le Querce spp. gli ettari sono 536. Se invece il periodo è di 60 anni gli ettari necessari diminuiscono e variano rispettivamente a 496 ettari per le latifoglie, 319 ettari per il Pino spp., 447 per le Conifere e 529 ettari per le Querce spp.

Oltre allo stoccaggio di carbonio nelle piante ho valutato il carbonio presente nei diversi suoli all'interno dell'area di studio. Dall'analisi in laboratorio il contenuto di C varia a seconda dell'uso del suolo e del tipo di suolo.

I valori più bassi si hanno sia per suoli ad uso agricolo che forestale. Infatti il valore più basso registrato è per il suolo CERBA/SAN VITALE della Pineta Ramazzotti, Pin Ram., che è al limite del giudizio qualitativo (MIPAF, 2006) SCARSO con 0.48 g/kg di C organico. crescendo ma rimanendo sempre nella classe qualitativa SCARSO troviamo la maggior parte dei suoli campionati. Per il suolo RISAIA del DUCA ad uso agricolo, che si trova sia a Fosso Ghiaia che a San Bartolo, i valori sono 0.58 g/kg per MC9 e 0.72g/kg per MC10; per il suolo MARCABO' ad uso agricolo il campione MC6 contiene 0.69 g/kg di C. Come per il suolo CERBA della pineta Ramazzotti, il campione di suolo della Pineta di Classe, MC5 contiene 0.76 g/kg di C mentre il campione MC8 contiene 0.90 g/kg di C che è il limite superiore della classe SCARSO. Tale campione si trova in un suolo di tipo SECCHIA ad uso agricolo.

All'interno della classe qualitativa MEDIO troviamo i campioni MC11, MC4 e MC7 prelevati dai suoli SANT'OMOBONO, SAVIO e CERBA /SAVIO tutti ad uso agricolo che contengono rispettivamente 0.94 g/kg, 1.04 g/kg e 1.13 g/kg di C.

Infine il campione MC3 prelevato nella zona di Classe in un campo incolto con suolo CERBA è l'unico campione che presenta un contenuto MOLTO ELEVATO di C, cioè 1.96 g/kg.

Questi dati ottenuti con il metodo Walkley- Black forniscono una stima approssimata del C organico nel suolo. Per avere un parametro di confronto ho analizzato i campioni di suolo anche con l'analizzatore elementare CHNS. I risultati dell'analizzatore sono in generale coerenti con quelli del metodo WB anche se i valori sono sempre più bassi per ogni campione. Nonostante il metodo WB sia indicativo per questo tipo di ricerca i risultati li ho confrontati con i dati della Regione Emilia Romagna per poter valutare la variazione del C nel suolo nel tempo e per uso del suolo.

Dal confronto tra le percentuali di sostanza organica si può notare come per i campioni MC3, MC5, MC7 , MC8 e MC10 i valori siano aumentati negli ultimi 20 anni. In particolare per il campione MC7 il giudizio qualitativo da SCARSO nel 1991 è diventato MEDIO nel 2011 e il contenuto è passato da 1.1 % a 1.94 %, con un miglioramento del 76 % in 20 anni; mentre per il campione MC3 da ELEVATO con 2.7% è passato a MOLTO ELEVATO con 3.3 %. Anche per il campione MC5 l'aumento del 45% di contenuto organico è stato notevole senza però portare ad un miglioramento qualitativo

Per i campioni MC4, MC6, MC9 e MC11 il contenuto di sostanza organica è diminuito. Anche per il campione MC 9 c'è stato un cambiamento nel giudizio qualitativo che è passato da MEDIO nel 1990 con 2.1% a SCARSO nel 2011 con 0.99% di sostanza organica con una variazione percentuale totale è del 52 %. Infine per il campione MC11 dal 2.2 % nel 1989 è diminuito al 1.6% nel 2011 che risulta essere il limite inferiore della classe di qualità MEDIO. Questa diminuzione interessa i suoli con prevalenza sabbia rispetto ai suoli argillosi, dove la sostanza organica è aumentata.

Per i campioni di acque i valori ottenuti con il metodo Maciolek (1962) risultano negativi CAN1 e CAN2, acque di falda, rispettivamente -185.4 mg/l e -69.6 mg/l, così come per il CAN 3 campione prelevato nel canale Fosso ghiaia che scorre all'interno della pineta di Classe e dell'Ortazzo, con -92.3mg/l. per tutti campioni è stato calcolato anche il contenuto di cloruri, i responsabili dell'interferenza nell'ossidazione del carbonio con bicromato di potassio. I cloruri nei tre campioni negativi sono alti. Infatti per CAN 1 5104,8 mg/l, per CAN 2 4785 mg/l e per CAN 3 4431,3 mg/l.

Per i restanti quattro campioni di acque superficiali, il DOC netto cioè valutato togliendo l'interferenza dei cloruri risulta essere: CAN4 6.9 mg/l, CAN5 17.1 mg/l, CAN 6 22.3 mg/l e CAN7 16.8 mg/l.

Per valutare il ruolo delle acque nel ciclo del carbonio il contenuto totale di C nelle acque superficiali più importanti all'interno del Quinto Bacino è:

- 7 t /a di C nei Fiumi Uniti
- 0.8 t/ a per il torrente Bevano

Per il canale Fosso Ghiaia che sfocia nel torrente Bevano il DOC non è valutabile perché il campione rispettivo CAN 3 è negativo.

Dai risultati del C organico nel suolo ho calcolato la quantità totale nell'area moltiplicando il risultato dell'analisi per il volume del Quinto Bacino. Attualmente nel suolo sono stoccati 658×10^3 t di C.

Per i possibili scenari di cambiamenti futuri (2100) la quantità totale di C organico nel suolo risulta essere superiore rispetto al valore attuale per A1b green con 738×10^3 ton e A2 green con 699×10^3 ton. Per entrambi gli scenari "grey planning" invece la quantità è inferiore a quella attuale in particolare A1b grey è di 644×10^3 ton e per "A2 grey" è di 585×10^3 ton.

Infine l'ipotesi di riforestazione per contrastare le emissioni attuali di CO₂ presenta un contenuto di C organico nel suolo di 729×10^3 ton.

Confrontando tra loro i risultati si può affermare che l'unico scenario IPCC che porterebbe ad uno stoccaggio totale di CO₂ è il A1b green planning.

5.1 Discussione dei risultati

La tecnica di riforestazione come metodo di cattura della CO₂ atmosferica è un metodo a lungo termine. Da questo lavoro si può osservare che la capacità di stoccaggio di C nel suolo ha un ordine di tempo secolare mentre attraverso la fotosintesi, lo stoccaggio varia a seconda della fase di crescita in cui si trova l'albero. Dopo la fase di massimo accrescimento infatti la capacità di fissare il C nella pianta diventa stabile. Questo periodo varia al variare della specie vegetale e più precisamente per i pini e le conifere ci vogliono 40 anni mentre per le altre latifoglie 20 anni.

Dal confronto dei risultati di C nel suolo con quelli della regione si può affermare che le variazioni del contenuto sono per lo più lievi ad eccezione dei campioni in area agricola che presentano sia un aumento che un forte diminuzione di C. considerando che l'uso del suolo nel ventennio dal 1990 al 2010 non è variato nei punti di campionamento una possibile spiegazione per percentuali può essere l'accuratezza dell'analisi effettuata in laboratorio e la metodologia di raccolta dei campioni. Inoltre si nota che la diminuzione interessa i suoli con una granulometria prevalente di sabbia. La presenza di sabbia conferisce al suolo una minor capacità di trattenere acqua e le sostanze trasportate data la maggior porosità. Al contrario argilla e limo trattengono la materia organica sia trasportata dall'acqua che quella depositata e successivamente interrata.

se vi è la necessità di avere risultati apprezzabili nel breve periodo è necessario utilizzare altre tecniche di stoccaggio come l'uso di fertilizzanti a basso contenuto di azoto e il biochar, il carbone vegetale prodotto naturalmente grazie a processi chimici come la pirolisi di rifiuti vegetali e diverse materie prime comunque organiche. In dettaglio il biochar è uno strato organico che fissa una quantità maggiore di CO₂ atmosferico rispetto al suolo agricolo o non lavorato. I principali vantaggi della formazione dello strato di biochar sono i tempi più brevi rispetto ad un suolo privo di

sequestro del carbonio in modo stabile e a lungo termine, ma anche (Capraro, 2009):

- Stimolazione della crescita delle piante
- Riduzione delle emissioni di metano e protossido di azoto
- Riduzione dell'utilizzo di fertilizzanti (circa 10%)
- Abbassamento dell'acidità del suolo e miglioramento della capacità di ritenzione idrica del terreno
- Aumento di Ca, Mg, P e K disponibili nel terreno
- Aumento della respirazione microbica del terreno e della massa microbica
- Aumento della massa microbica
- Stimolazione dell'azione di fissaggio dell'azoto da parte dei legumi
- Maggiore capacità di scambio di cationi

Dalle analisi delle acque il DOC netto è un dato influenzato dalla presenza dei cloruri. Senza la loro presenza il C organico sarebbe l'unico agente ossidante perciò i risultati ottenuti sottostimano il DOC reale. Inoltre in riferimento alla tesi di Materia(2004) il ruolo del DOC nel ciclo del carbonio è irrilevante rispetto ai flussi e ai processi che avvengono tra la biosfera, la pedosfera e l'atmosfera. Per ottenere risultati più completi e confrontabili è necessario campionare il territorio come minimo una volta ogni stagione e considerare un bacino più grande e analizzare i campioni con analizzatori di carbonio totale un metodo più accurato e preciso rispetto al metodo Maciolek(1962).

I cambiamenti di uso del suolo non hanno mostrato particolare influenza nella variazione nel tempo del contenuto organico nel suolo. Ciò che controlla il contenuto risulta essere il tipo di suolo e le sue caratteristiche chimico-fisiche. In ogni caso dall'analisi dell'uso del suolo negli anni 1954, 1976 1994 e 2008 è da notare l'aumento di uso urbano rispetto alle altre classi, mentre per l'uso forestale si può notare come sono aumentate le

aree naturali con vegetazione spontanea rispetto alle aree verdi di rimboschimento. Per lo scenario A1b green l'aumento percentuale di area forestale è elevato rispetto all'aumento degli ultimi 50 anni. quindi anche se è l'unico scenario che permetterebbe lo stoccaggio di una quantità di CO₂ antropica simile a quella stimata attualmente non è lo scenario a cui tenderebbe l'area di studio considerando i cambiamenti storici avvenuti dal 1954 ad oggi . Anche per entrambi gli scenari "grey planning" le variazioni di uso del suolo non rispecchiano il trend che ha portato l'area all'uso attuale. Nonostante l'uso urbano sia aumentato dal 1954 ad oggi in modo esponenziale le percentuali di uso forestale rimarrebbero costanti, cosa che non ci si aspetta da una politica che da oggi è direzionata ad aumentare il verde urbano. Perciò tra gli scenari possibili rimane A2 green planning che da una parte rispecchia l'andamento della variazione di uso del suolo passato ma dall'altra non permette di raggiungere lo stoccaggio ideale di C organico nel suolo per far fronte alle emissioni antropiche. Perciò l'ipotesi da me proposta che prevede solo un cambiamento di uso del suolo agricolo in uso forestale può essere valutato come scenario migliore nonostante non abbia considerato un aumento percentuale di uso urbano dato che oggi sono presenti diversi piani per ampliare e aprire nuove cave.

Dai dati raccolti in questo lavoro si può definire per gli scenari proposti se l'area di studio è da considerarsi un sink o source di CO₂. I processi principali di immagazzinamento del carbonio sono la fotosintesi e lo stoccaggio nel suolo. Il ruolo delle acque non è valutabile in questo lavoro perchè è un'area piccola rispetto all'intero bacino idrografico; la perdita della capacità di stoccaggio del suolo nei vent'anni è poco rilevante; infatti se in alcune zone è diminuito in altre è aumentato; le emissioni antropiche calcolate sono sovrastimate in quanto la fonte principale è l'agricoltura che influisce meno rispetto al traffico veicolare, presente invece in piccola percentuale. Da queste considerazioni risulta che attualmente l'area è un sink. Negli scenari futuri considerati e con le ipotesi fatte l'unico che

permette di mantenerlo un sink è A1b green che porterebbe un immagazzinamento superiore rispetto a quello attuale. Per gli altri scenari invece considerando solo il C nel suolo l'area risulterebbe una source ma per lo scenario A2 green bisogna considerare la mediazione della fotosintesi delle piante che agisce più rapidamente.

Infine il ciclo del carbonio per l'area di studio è rappresentato nella Fig. 5.1.

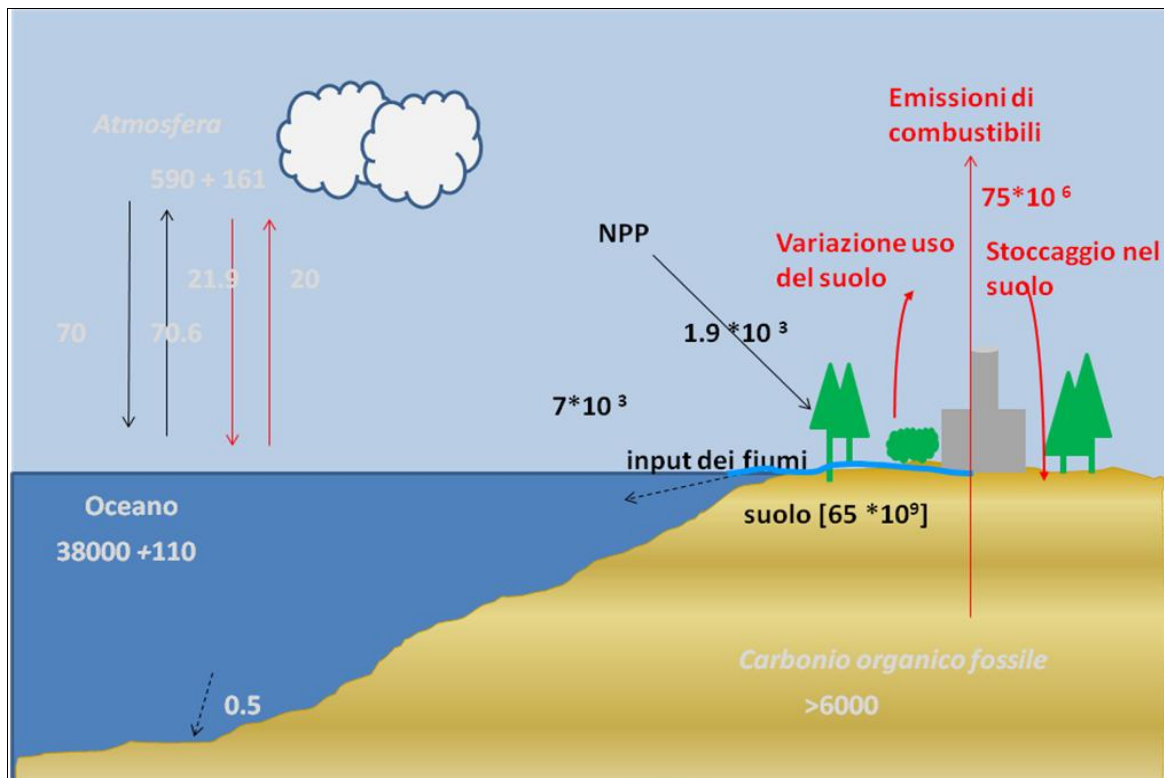


Fig. 5.1 Ciclo del Carbonio con i valori di questo lavoro in rosso e nero in kg/a. I valori in grigio sono rimasti invariati dalla fonte Sabine et al, 2004. NPP: Produzione primaria netta

Azioni a livello provinciale e comunale

Dall'incontro in Provincia di Ravenna con il responsabile del Programma di Sviluppo Rurale nel territorio di Ravenna sono emerse importanti conclusioni sulla realtà di Ravenna.

La prima è che con questo ultimo Programma di Sviluppo rurale 2007-2013 non ci sono state rilevanti adesioni da parte delle imprese o dei singoli privati a riforestare zone agricole nel territorio provinciale. Questo perché con il nuovo programma sono aumentati i vincoli che ogni beneficiario deve

rispettare una volta che intraprende l'azione di riforestazione e diminuiti gli incentivi economici.

Sono diminuiti i:

- contributi per le spese di impianto (sotto forma di contributo in conto capitale) per ettaro imboschito;
- premi annuali per ettaro per la manutenzione degli imboschimenti (esecuzione delle cure colturali), per un periodo non superiore ai 5 anni
- i premi annuali, per ettaro imboschito, per compensare le perdite di reddito, per un periodo non superiore ad anni 15.

Nei programmi antecedenti il 2007 invece gli incentivi per i primi due punti erano garantiti con cifre superiori a quelle attuali mentre per il terzo punto il risarcimento del reddito perduto era di un periodo non superiore a 20 anni.

I vincoli sono invece aumentati dato che per ogni azione sono previste norme e regole non solo del programma Rurale ma anche di altri piani, come il "Piano di coltura e conservazione" che nelle disposizioni generali elenca gli oneri e doveri del proprietario e le "Prescrizioni di Massima e di Polizia Forestale".

I vincoli previsti sono:

- per arboricoltura da legno: utilizzo di esemplari autoctoni, impianti che prevedono l'alternanza regolare di essenze idonee per arboricoltura da legno di pregio, da scegliere unicamente fra quelle delle "Linee guida per la progettazione e la realizzazione degli imboschimenti; essenze accessorie da scegliere unicamente fra quelle delle "Linee guida per la progettazione e la realizzazione degli imboschimenti"
- arboricoltura da legno a ciclo breve: adottare disciplinari di produzione connessi a certificazione forestale e/o adozione del metodo di produzione integrata; realizzare impianti diversi dalla

pioppicoltura per almeno il 10% della superficie complessiva: boschi permanenti, arboricoltura da legno, ecc.; il numero minimo di pioppi da impiegare per ettaro di superficie impiantata è definito nelle Linee guida per la progettazione e la realizzazione degli imboschimenti.

I beneficiari sono “soggetti ammessi ad usufruire del regime di aiuti sono: gli imprenditori singoli od associati ed i comuni. In particolare, ai fini dell'applicazione delle misure d'imboschimento, il beneficiario dovrà dimostrare di dedicare almeno il 35% del proprio tempo all'attività diretta della coltivazione del fondo e di ricavare da detta attività almeno il 35% del proprio reddito.” (PSR, 2010).

Infine consultando i documenti dei Piani di Coltura e conservazione ho notato che le realizzazioni di impianti di tipo (PCC, 2000):

- boschi permanenti,
- boschi polifunzionali,
- Arboricoltura specializzata,
- pioppeti,
- impianti di protezione,
- alberature a fasce di collegamento,
- impianti con specie a rapido accrescimento per la produzione di biomassa,

si concentrano negli anni dal 1998 al 2003 nella sola provincia di Ravenna con una percentuale maggiore per impianti di arboricoltura specializzata a boschi polifunzionali. Non sono presenti azioni dal 2007 ad oggi (Provincia di Ravenna, 2011).

Considerazione finale

Il lavoro svolto è da considerarsi un punto di partenza per realizzare e sperimentare metodi e strumenti per contrastare i cambiamenti climatici a livello locale. Questo lavoro può essere indirizzato ad approfondire una componente rispetto ad un'altra in quanto la difficoltà maggiore che ho incontrato è stata la gestione dell'interdisciplinarietà che lo caratterizza. Nonostante la parte di campionamento e analisi in laboratorio dei suoli e delle acque sia stata quella che ha portato ai risultati non sono da sottovalutare le considerazioni che sono emerse nell'affrontare la gestione del territorio. Conoscere cosa è possibile fare a livello comunale o provinciale e cosa si può attuare concretamente è uno dei punti che sono emersi dagli incontri con gli enti pubblici che si occupano della gestione e pianificazione del territorio. Per quanto riguarda la fattibilità di avviare una riforestazione nell'area di studio si incontra la prima difficoltà. Le azioni da svolgere per contrastare i cambiamenti climatici vengono decise a livello nazionale. Perciò in Italia sono state decise sia le aree in cui intervenire con la riforestazione sia la quantità di CO₂ che si vuole abbattere. Il comune di Ravenna infatti sta lavorando per attuare queste azioni che però si concentrano nell'area urbana e non in quella agricola, come in questo lavoro. Perciò i risultati anche se ipotetici sono da considerare come impegno extra per il comune e questo però non può essere conteggiato nel risultato finale di abbattimento della CO₂ in quanto l'area non è stata considerata a livello nazionale come sito di intervento.

Perciò a livello comunale le azioni sono già programmate e sono da rispettare mentre a livello privato la situazione per questi ultimi anni non si sta muovendo.

Bibliografia

AA.VV., 2008. Le pinete demaniali litoranee dell'Alto Adriatico. Progetto LIFE – Natura 2004 “Tutela di siti Natura 2000 gestiti dal Corpo Forestale dello Stato” (LIFE04NAT/IT/000190). Corpo Forestale dello Stato – Ufficio territoriale per la Biodiversità di Punta Marina, Ravenna.

Allen M.F., Klironomos J.N., Treseder K.K., Oechel W.C., 2005. Responses of soil Biota to elevated CO₂ in a chapparal ecosystem. *Ecological applications* 15, pp 1701-1711, Ecological Society of America.

Amthor J.S., 1995. Predicting Effects of Atmospheric CO₂ Partial Pressure on Forest Photosynthesis . Blackwell Publishing .*Journal of Biogeography*, Vol. 22, No. 2/3;

Antonellini, M., Mollema, P. Giambastiani B., Bishop K., Caruso L., Minchio A., Pelegrini L., Sabia M., Ulazzi E., Giabbianelli G., 2008. Salt Water intrusion in the coastal aquifer of the southern Po plain Italy. *Hydrogeology Journal* 16: 1557-1576. On-line version: <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-008-0319-9>

Antonellini M and Mollema P, 2010 .Impact of groundwater salinity on vegetation species richness in the coastal Pine forests and wetlands of Ravenna, Italy. In press by *Ecological Engineering*
doi:10.1016/j.ecoleng.2009.12.007.

Antonellini M., Benini L., Mollema P., 2011. WATDST: An Excel-Based Decision Support Tool to Evaluate the Effects of Land Use Change on Water Resources in Coastal Drainage Basins. In Review

ARPA_EMR,2004. Annuario regionale dei dati ambientali 2004 Suolo. Cap 8.

ARPAV, Unità operativa Suolo, 2006. Stock attuale di carbonio organico nei suoli di montagna del Veneto.

Baldocchi D., 1998. FLUXNET Progress Report. NASA Project, EOS Validation 1998.

Balugani, E., Antonellini, M., 2011. Barometric Pressure Influence on Water table Fluctuations in Coastal Aquifers of Partially Enclosed Seas; an Example from the Adriatic Coast, Italy. Journal of Hydrology 400, 176-186., doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.01.040

Bardi U., 2010. CO₂: la molecola che controlla il clima. <http://terranauta.it>.

Birdsey R.A, 1992. Carbon storage and accumulation in United States forest eco system. General Technical Report WO-59. United States Department of Agriculture

Bitelli G, Bonsignore F, Unguendoli M., 2000. Levelling and GPS networks for ground subsidence monitoring in the Southern Po Valley: Journal of Geodynamics 30 : 355-369.

Blaustein R. J., 2010. Recarbonizing the earth. Worldwatch Report Febraury 2010.

Boano G., Pulcher C., 2003 - Check-list degli Uccelli di Piemonte e Val d'Aosta aggiornata al dicembre 2000. Boll. Mus. reg. Sci. nat., Torino, 20: 177-230.

Catalogo regionale dei tipi di suoli della pianura emiliano-romagnola. Ermes Agricoltura. Servizio geologico, sismico e dei suoli della Regione Emilia Romagna, versione 2005. <http://www.suolo.it>.

Cook J., 2010. Guida scientifica allo scetticismo del riscaldamento globale. www.skepticalscience.com.

Crema S. 2008. Urban forestry e stima del carbonio: analisi di linee guida e calcolo in zona urbana come applicazione ed opportunità per l' università di Padova. Università degli studi di Padova. Dipartimento Territorio E Sistemi Agro- Forestali.

D.M. 13/09/99 – VII.3. Determinazione del carbonio organico (Metodo Walkley e Black)

Emiliani D., Volponi S. 1994. Le cave di pianura della provincia di Ravenna quali habitat per l'avifauna e l'esempio dell'area di riequilibrio ecologico di Russi. Pp. 148-150. *In*: L'avifauna degli ecosistemi di origine antropica. Zone umide artificiali, coltivi, aree urbane. Electa Napoli

FAO, 2008. The carbon sequestration potential in agricultural soils.

FAO, 1995. Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture. FAO Soils Bulletins Vol 52.

Freund P., 2005. Cattura e stoccaggio di CO₂ prodotti dai combustibili fossili. Volume 3/ nuovi sviluppi: energia, trasporti, sostenibilità, Enciclopedia degli idrocarburi.

Giardini L., 1986. Agronomia generale. Patron editore, Bologna

Giambastiani, B. M. S., Antonellini, M., Oude Essink, G. H. P., Stuurman, R. J., 2007. Salt water intrusion in the unconfined coastal aquifer of Ravenna (Italy): a numerical model. *Journal of Hydrology* 340, 94-104.

Gioli B., Miglietta F., 2007. Stima del bilancio del carbonio a scala regionale. *Italian Society of Silviculture and Forest Ecology*. 469-477.
<http://www.sisef.it/forest@/>

Grieve I.C., 1984. Concentration and annual loading of dissolved organic matter in a small moorland stream. *Freshwater Biology* 14, 533-537.

Hamburg, S.P., Harris, N., Jaeger, J., Karl, T.R., McFarland, M., Mitchell, J.F.B., Oppenheimer, M., Santer, S., Schneider, S., Trenberth, K.E., Wigley, T.M.L., 1997. Common questions about climate change. United Nation Environment Programme, World Meteorology Organization.

Hattenschwiler S., Handal I.T., Egli L., Asshoff R., Ammann W. and Kbrner C., 2002. "Atmospheric CO₂ enrichment of alpine treeline conifers". *New Phytologist* (2002) 156: 363-375.

Hermon M.E., Ferrel W.K., Franklin J.F., 1990. Effects on Carbon Storage of Conversion of Old-Growth Forests to Young Forests. *Science*, Vol. 247 no. 4943 pp. 699-702

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 1995. Second assessment report "Climate Change 1995, the Science of Climate Change" Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000a. Land Use, Land Use Change and Forestry. Special report. Cambridge University Press, UK

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000b. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Cambridge University Press, UK

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001. Climate Change: The Scientific Basis. Cambridge University Press, UK

IPCC - on Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, UK

IPCC, 2007. "Synthesis Report 2007". Cambridge University Press, UK

ISPRA,2002. Assorbimento e fissazione di carbonio nelle foreste e nei prodotti legnosi in Italia. Rapporti 21/2002.

Jackson M.L. ,1964. Clay transformation in soil genesis during the Quaternary. Soil Sci., vol. 68.

Kiehl J. T., Trenberth K E., 1996. Earth's Annual Global Mean Energy Budget. National Center for Atmospheric Research, Bulletin of the American Meteorological Society Vol. 78, No. 2, February 1997

Laghi, M., Mollema P., Antonellini M. 2010 The influence of river bottom topography on salt water encroachment along the Lamone River (Ravenna, Italy), and implications for the salinization of the adjacent

coastal aquifer. In: proceedings of World Environmental and Water Conference, Providence, USA, 2010.

Lal R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123 pp 1- 21.

Lambeck K., Antonioli F., Purcell F., Silenzi S., 2004. Sea level change along the Italian coast for the past 10.000 yr. *Quat. Sc. Reviews*, 23: 1567-1598.

Larcher, W., 1980. *Growth Kinetics and Quantitative Measurements of Growth Physiological Plant Ecology*, Springer-Verlag, NY.

Maciolek J.A. , 1962. *Limnological organic analyses by quantitative dichomate oxidation*. Washington: United States Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Bureau of sport Fisheries and wildlife.

Magnani F.,2005. Il progetto Carbo-Italy. Il bilancio del carbonio della vegetazione: stime e strategie di gestione. ARPA Emilia-Romagna, Luglio 2005

Marconi, V., Antonellini, M., Balugani, E. and Dinelli, E. (2011), Hydrogeochemical characterization of small coastal wetlands and forests in the Southern Po plain (Northern Italy). *Ecohydrology*.

Marsili Libelli S., 1987. *Controllo dei processi*. Pitagora Esami.

Materia S., 2004. La foresta di Norunda (Uppland, Svezia) come sorgente di biossido di carbonio. Tesi di laurea in idrologia e idrogeologia. Università di Bologna.

Medaglia C., 2010. Effetto serra e cambiamenti climatici: evidenze scientifiche e normativa internazionale. RivistaOnline ANNO VII - Numero 2 - Aprile-Settembre 2010

MiPAF, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo, 2006. Metodi di valutazione dei suoli e delle terre. Coordinatore Edoardo A. C. Costantini. Edizioni Cantagalli.

Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, 2005. L'Italia ed il Protocollo di Kyoto.

http://www.minambiente.it/home_it/Clima.html|I_Meccanismi_flessibili_del_Protocollo_di_.html|Per_Italia_.html

Ministero per le Politiche agricole, 1999. Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo D.M. del 13/09/1999, Gazzetta Ufficiale n.248 del 21.10.99

Ministero delle Risorse Agricole, alimentari e Forestali, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del Suolo, 1994. Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo con commenti ed interpretazioni. ISMEA, Roma.

Moiso G., 2009. Spingere la CO₂ negli abissi. <http://qualenergia.it>

Mollema, P. Antonellini M., Gabbianelli G., Laghi M., Marconi V., Minchio A. 2011. Climate and water budget change of a Mediterranean coastal watershed, Ravenna, Italy. In press by Environmental Earth Sciences.

Norby, R. J. et al., 2010. "Forest response to elevated CO₂ is conserved across a broad range of productivity.". Vol 102 n. 50, pp. 18052- 18056

Provincia di Ravenna Settore Programmazione Territoriale, 2006. PTCP, Relazione Generale. Allegato 2. Attuazione delle politiche di piano: azioni e progetti.

Provincia di Ravenna, 2007. Programma Rurale Integrato Provinciale. Programma di sviluppo rurale 2007-2013.

Provincia di Ravenna, 2009. Piano territoriale del Parco Regionale del Delta del Po. Stazione: Pineta di Classe e Saline di Cervia. Relazione di Progetto.

Regione Emilia Romagna, Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli, 2003. Studio 1. Il territorio dell'Autorità dei bacini regionali romagnoli. <http://www.regione.emilia-romagna.it/baciniromagnoli/>

Regione Emilia Romagna, 2010. Inventario delle emissioni in atmosfera. Progetto NINFA - Extended

Regione Lombardia, 2011. INEMAR, Inventario Emissioni Aria- Regione Lombardia. <http://www.inemar.eu/>

Regione Sardegna, 2010. Imboschimento dei terreni agricoli. PSR 2007/2013.

Riondino M., Di Tommasi P., Bertolini T., Fierro A., Magliulio V., 2005. Bilanci di carbonio di una coltura irrigua di mais (*Zea mais L.*) in ambiente mediterraneo. XV Congresso della Società Italiana di Ecologia, Torino 2005

Sabine C.L., Feely R.A., Gruber N., Key R.M., Lee K., Bullister J.L., Wanninkhof R., Wong C.S., Wallace D.W.R., Tilbrook B., Millero F.J., Peng

T.-H., Kozyr A., Ono T. & Rios A.F. ,2004 . The oceanic sink for anthropogenic CO₂. Science 305: 367-371.

Sbaraglia M., Lucci E., 1994. Guida all'interpretazione dell'analisi del terreno ed alla fertilizzazione. Studio Pedron, Pomezia.

Scherr S.J. , Sthapit S.,(2009). Mitigating climate change through food and land use. Worldwatch Report 179, Ecoagriculture partners and worldwatch institute.

Singer S.F., Avery D.T., 2007. Unstoppable Global Warming: every 1500 years. Rowman and Littlefield publication, INC

Solaro S., Brenna S.,2005. Il carbonio organico nei suoli e nelle foreste della Lombardia. Bollettino AIP 1 anno 2005

Springer U., Klee J., 1954. Prufung der Leistungsfahigkeit von einigen wichtigen verfahren zur Bestimmung des Kohlenstoffe mittels Chromschwefelsaure sowie Vorschlag einer neuen Schnellmethode. Z. Pflanzenernahr. Dung. Bodenk. 64:1-26.

Susmel L., 1986. Selvicoltura naturalistica ed economica. Economia Montana, (6).

Teatini P, Ferronato M, Gambolati G, Gonella M. 2006. Groundwater pumping and land subsidence in the Emilia-Romagna coastland, Italy: modelling the past occurrence and the future trend: Water Resour. Res. 42: 1–19.

UNFCCC 2002. A Guide to the Climate Change Convention and its Kyoto Protocol, Climate Change Secretariat, Bonn. Sito Internet: <http://www.unfccc.int/UTH>

UNFCCC 2002. Methodological issues – Option paper on modalities for addressing socio-economic and environmental impacts, including impacts on biodiversity and natural ecosystems – Note by the secretariat. FCC/SBSTA/2003/7. 24 Dicembre 2002, Bonn

Vienbahn P., Fischdick M., Vallentin D., 2009. Carbon capture and storage. State of the world 2009 Report, climate connections

Walkley A., Black I. A. 1934. An examination of the Dectjareff method for determining soil organic matter an a proposed modification of the cromic acid titration method. Soil Sci., 37: 29-38

Wearing C.L., 2008. Changes in fluxes of dissolved organic carbon (DOC) from small catchments in central Scotland. University of Stirling, Stirling, UK pp 76-78 and 222-228

Wilson E.O., Bossert W.H., 1974. Introduzione alla biologia delle popolazioni. Piccin, Padova.

Xiao, Q., 1998. Rainfall interception by urban forests. Davis: University of California, Davis; 184 p. Ph.D. dissertation.

Zabini F., 2008. Ecosistemi e CO₂. Newsletter dell'Osservatorio Regionale Kyoto di Ibimet e Regione Toscana. <http://www.osservatoriokyoto.it>