



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale

ANALISI DEGLI STOCK DI CO₂ DAL SETTORE FORESTE DELLA REGIONE MARCHE

ANALYSIS OF FOREST CO₂ STOCK IN THE MARCHE REGION

Relatore:

Chiar.mo Prof. Giorgio Passerini

Tesi di laurea di:

Anastassia Cappelloni

Correlatore:

Ing. Simone Virgili

A.A. 2019 / 2020

INDICE

INTRODUZIONE.....	3
CAPITOLO 1.....	4
1.1 Inquinamento ed effetto serra.....	4
1.2 Settori di produzione ed emissioni di gas serra.....	5
1.3 Accordi sul clima.....	7
1.3.1 Protocollo di Kyoto.....	7
1.3.2. Accordo di Parigi.....	8
1.4 Assorbimento di anidride carbonica.....	8
1.4.1. Vegetazione e fotosintesi clorofilliana.....	8
1.4.2 Oceani.....	9
1.5 Effetti dell'inquinamento.....	10
1.5.1 Effetti sull'uomo.....	10
1.5.2. Effetti sulle acque.....	10
1.5.3. Effetti sul suolo.....	11
1.5.4. Scioglimento del permafrost.....	12
CAPITOLO 2.....	13
2.1 Inventario Nazionale.....	13
2.1.1 Carbon pools.....	14
2.1.2. Distinzione categorie forestali.....	15
2.1.2.1 Raggruppamento delle categorie forestali.....	16
2.2 INEMAR.....	17
2.2.1 Stima delle emissioni.....	17
2.2.2. Sistema For - Est.....	19
2.2.2.1. Metodo di calcolo del carbon stock e CO ₂ stock con metodo INEMAR For – Est.....	20
2.3 Metodo di calcolo per la stima di carbon stock e CO ₂ stock.....	22
2.4 Carbon stock nel Piemonte.....	24
CAPITOLO 3.....	25
3.1 Specie forestali, carbon stock e CO ₂ stock.....	27
3.1.1 Cerrete.....	27
3.1.2 Robinieti – Ailanteti.....	29
3.1.3 Rimboschimenti a prevalenza di conifere.....	32

3.1.4 Orno – Ostrieti	34
3.1.5 Formazioni riparie	36
3.1.6 Castagneti	38
3.1.7 Boschi di latifoglie varie, pure o miste	40
3.1.8 Arbusteti e cespuglieti	42
3.1.9 Querceti di roverella e di rovere	44
3.1.10 Faggete.....	46
3.1.11 Leccete.....	48
CAPITOLO 4.....	51
4.1 Carbon stock e CO ₂ stock totali.....	51
4.2 Analisi a livello provinciale	53
4.3 Confronto con il Piemonte	54
CONCLUSIONI.....	57
BIBLIOGRAFIA	58

INTRODUZIONE

Sin dai tempi antichi, l'istinto di sopravvivenza insito nell'uomo, lo ha portato ad allontanarsi dalla natura e dagli spazi verdi. Infatti lo ha spinto a vivere creando dei propri spazi per proteggersi da eventuali minacce del mondo esterno ed è riuscito a fare ciò essendo dotato di un maggior intelletto di tipo logico – matematico rispetto alle altre specie che popolano il nostro pianeta.

Questo ha fatto sì che l'uomo si sia allontanato sempre di più, erigendo “muri” con il mondo esterno e perdendo il contatto con la natura ed anzi, prendendo il sopravvento su di essa. L'effetto è stato ed è tuttora devastante; l'ambiente intorno a noi, infatti, sta cambiando aspetto diventando sempre più ostile.

Un incremento degli spazi verdi può aiutare ad arginare il problema in quanto gli alberi e le piante hanno la capacità di depurare l'aria che respiriamo e quindi di migliorare anche la nostra salute psicofisica. Per questo motivo sarebbe bene reintrodurre ampi spazi verdi nella nostra quotidianità.

Il presente studio ha lo scopo di dimostrare quanto sia importante per l'uomo ritrovare il contatto con la natura ed, in particolare, individuare quali sono le categorie forestali più idonee a ciò. È infatti uno studio incentrato sull'analisi dello stock di CO₂ di diverse specie arboree, al fine di studiarne gli aspetti qualitativi e quantitativi ed utilizzarli per migliorare la qualità dell'ambiente.

Possiamo continuare a vivere in grandi o piccole città apportando però modifiche al nostro stile di vita e alla nostra concezione di “casa”, utilizzando il progresso scientifico non per sentirci onnipotenti, ma per conoscere e rispettare ciò che ci circonda.

CAPITOLO 1

*“Credo che avere la terra e non rovinarla
sia la più bella forma d’arte che si possa desiderare”*

- Andy Warhol -

La parola “inquinamento” deriva dal latino ed indica l’attività di degrado antropogenica dell’ambiente naturale con la conseguente alterazione degli equilibri naturali (Garzanti). Nel corso della storia sono stati diversi i fattori che hanno causato questo fenomeno. Mentre nei secoli passati si utilizzavano materie e sostanze inquinanti, non vi era una conoscenza scientifica avanzata, per cui non ci si rendeva conto dei problemi ambientali che si procuravano. Oggigiorno, con uno sviluppo industriale sempre crescente, anche se si conosce molto meglio il fenomeno, si assiste ad un incremento ingente di emissioni di gas inquinanti e di sostanze nocive. A seguito di ciò, si stanno verificando eventi importanti come il rapido cambiamento climatico, che ha effetti deleteri sulla natura e quindi anche sull’uomo.

1.1 Inquinamento ed effetto serra

Le emissioni non sono tutte dello stesso tipo, esistono infatti principalmente due tipi di inquinamento: quello primario e quello secondario. Il primo è causato dalle dirette emissioni di sostanze inquinanti nell’ambiente, mentre quello secondario è una conseguenza dell’inquinamento primario, cioè è causato da reazioni chimico - fisiche che avvengono in tempi successivi all’emissione. (Regione Emilia Romagna - Servizio Tutela e Risanamento Acqua, Aria e Agenti fisici, 2019)



Figura 1 Emissioni

Anche se ormai c’è un sistema di monitoraggio delle emissioni più accurato, risulta difficile quantificare l’inquinamento secondario perché è il risultato di più fattori sinergici e quindi non facilmente prevedibile a differenza di quello primario, dato che quest’ultimo dipende direttamente dall’attività antropica.

L’inquinamento primario inoltre è causato principalmente dai processi di combustione che liberano particelle nell’aria, le quali poi si diffondono grazie anche ai fenomeni meteorici. Ad esempio, se la zona in cui c’è una maggior concentrazione di inquinante è ventosa, le particelle si diffonderanno con più facilità.

Esiste anche il fenomeno dell'inversione termica: quando si assiste ad un rapido raffreddamento dell'atmosfera, l'aria calda, carica di inquinanti, tende a salire per via della minore densità rispetto alla zona fredda e quindi c'è una sorta di “mescolamento” dell'aria con la conseguente diminuzione della concentrazione di particelle. (APAT, Polidori, Battistella, Calicchia, Cinti, & Palma, 2006)

Tuttavia in natura esiste anche un inquinamento che provoca effetti positivi. Infatti alcuni gas naturali sono necessari al fine di mantenere una certa temperatura sulla superficie terrestre tale da rendere il nostro pianeta ospitale alla vita. Tra questi ci sono il biossido di carbonio, il vapore acqueo, l'ossido nitroso, il metano e l'ozono, che impediscono alle radiazioni solari nocive di passare e trattengono quelle che servono a riscaldare la superficie terrestre, per via di un fenomeno naturale chiamato “effetto serra”.

L'emissione di questi gas da fonti naturali non è nociva in quanto viene perfettamente bilanciata dalla presenza della vegetazione che agisce tramite fotosintesi clorofilliana.

Il problema sussiste quando, a causa delle attività antropiche (combustione, allevamenti intensivi ecc) , la concentrazione di questi gas serra aumenta e vengono immessi nell'atmosfera altri gas altamente nocivi; in tal modo gli equilibri naturali sono alterati e si attivano dei processi pericolosi per il pianeta (per esempio il surriscaldamento globale). Quest'ultimo infatti provoca degli effetti a catena come lo scioglimento dei ghiacciai e l'aumento della temperatura marina con un conseguente impatto negativo sulla flora e sulla fauna. Inoltre una temperatura più alta non fa altro che aumentare significativamente fenomeni meteorici estremi come gli uragani. (ARPA Valle D'Aosta, 2017) (Ecoage - Effetto serra)

1.2 Settori di produzione ed emissioni di gas serra

Dal rapporto sulle emissioni di gas serra nel nostro Paese, elaborato dall'Ispra, emerge che i principali fattori di inquinamento sono il settore industriale e dei trasporti. Quest'ultimo ha subito una crescita quasi esponenziale negli ultimi anni, dovuta all'aumento del turismo e quindi all'aumento del traffico aereo aereo, che è tra le maggiori fonti di emissioni di CO₂. Per questo motivo, oggi, le industrie aerospaziali stanno mettendo a punto aerei sempre più efficienti ma al tempo stesso più ecologici.



Figura 2

Dai dati elaborati dall'Ispra si nota come il settore delle industrie energetiche sia quello con il maggior impatto ambientale, seguito dai trasporti e dall'industria manifatturiera. Dal grafico si nota un picco in prossimità dell'anno 2005, anno in cui è iniziata la crisi economica che ha portato ad un successivo calo delle emissioni in quasi tutti i settori. Sempre dallo stesso rapporto, si evince che dal 1990 al 2013 le emissioni di gas serra pro capite sono diminuite del 20,9%.

Oltre alle tre macrocategorie sopracitate, i dati Ispra analizzano anche le emissioni dovute ai rifiuti, all'agricoltura (processi), all'uso di solventi, ai processi industriali, all'agricoltura e alla pesca (energia), ai residenziali e servizi e alle emissioni fuggitive. L'andamento è quasi sempre lo stesso tranne per l'uso di solventi, per i processi agricoli e per le emissioni fuggitive per i quali la decrescita delle emissioni è quasi costante dal 1993 al 2013 (Caputo, Antonio; ISPRA, 2015).

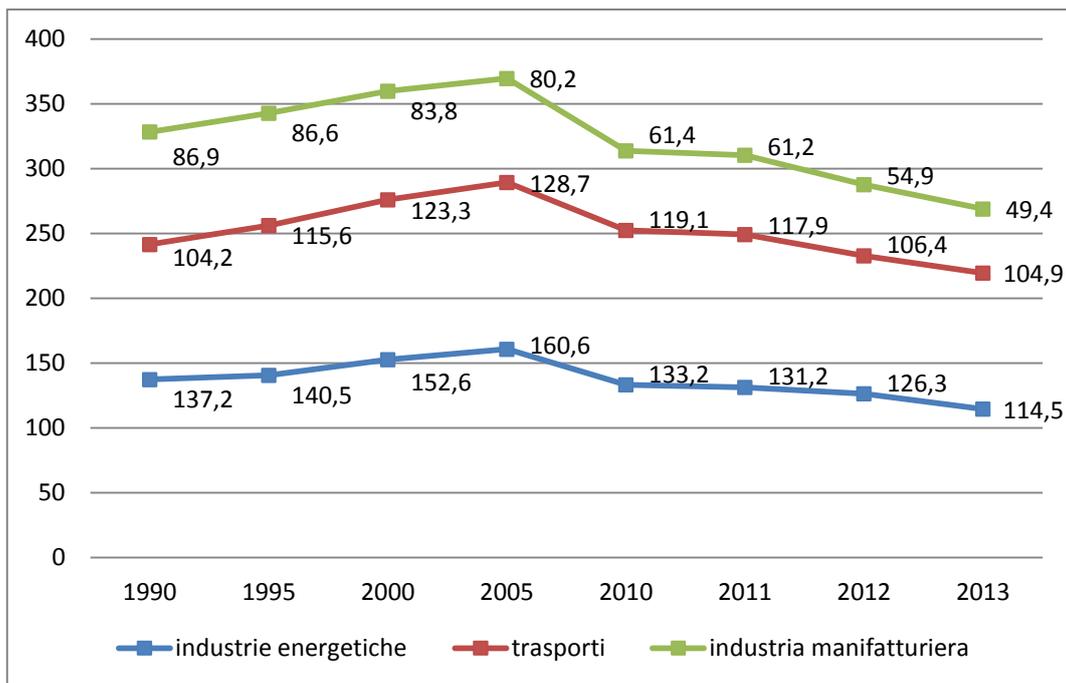


Figura 3 Emissioni di CO2 (t) in Italia dal 1990 al 2013 per le tre macrocategorie principali (Caputo, Antonio; ISPRA, 2015)

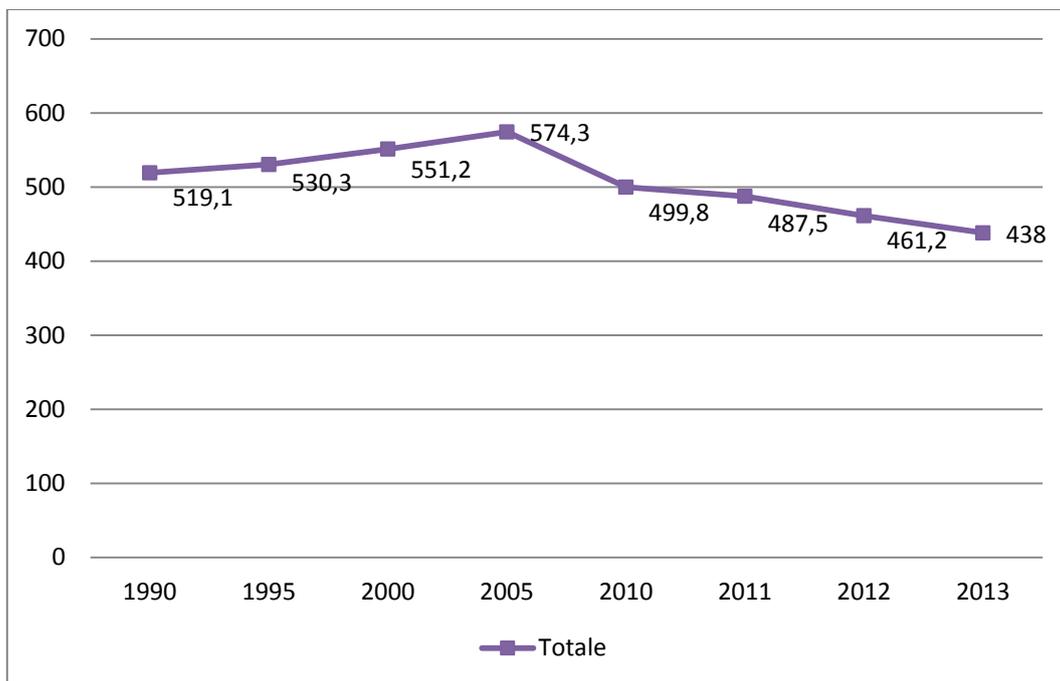


Figura 4 Emissioni di CO2 (t) dal 1990 al 2013 per tutte le macrocategorie in Italia (Caputo, Antonio; ISPRA, 2015)

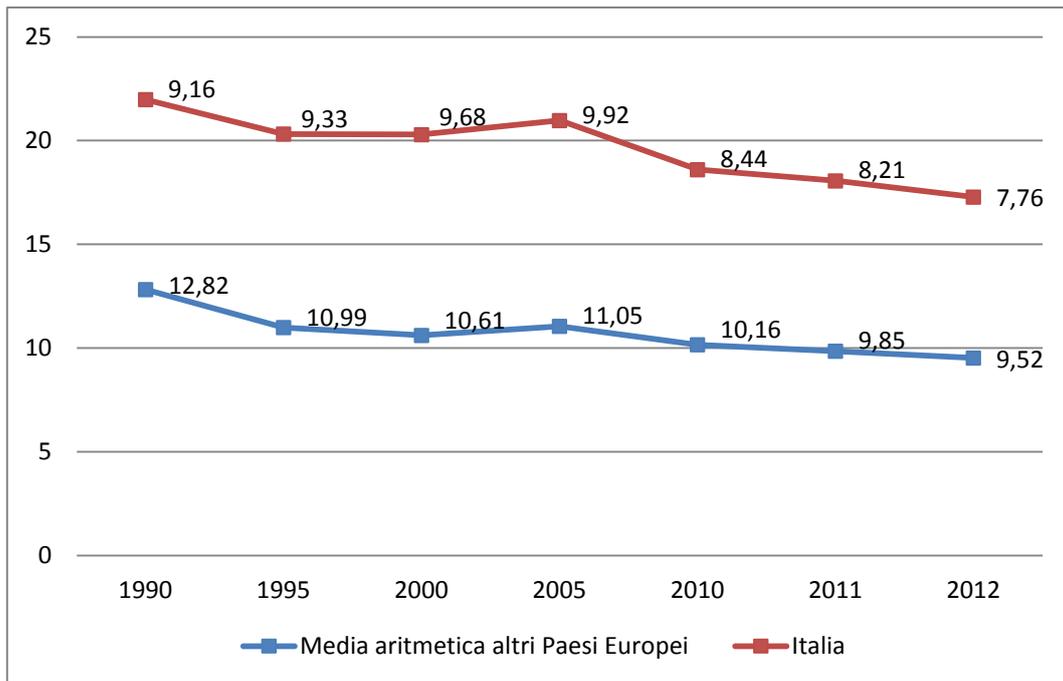


Figura 5 Emissioni di gas serra pro capite (t CO₂eq/ab) (Caputo, Antonio; ISPRA, 2015)

1.3 Accordi sul clima

1.3.1 Protocollo di Kyoto

L'11 dicembre del 1997 fu sottoscritto un protocollo, detto Protocollo di Kyoto, al fine di ridurre il fenomeno delle emissioni di gas serra e quindi migliorare la qualità dell'aria. I Paesi che sottoscrissero e successivamente ratificarono il Protocollo (almeno 55 Paesi responsabili di almeno il 55% delle emissioni di gas serra) si impegnarono in questo modo ad attuare una politica più ecosostenibile. Anche se fu sottoscritto nel 1997, è entrato effettivamente in vigore nel 2005, dopo la ratifica da parte della Russia.

Questo Protocollo si basa su tre principi fondamentali:

- 1) **International Emissions Trading:** tutti i Paesi firmatari devono ridurre le emissioni e, nel caso in cui quelle effettive siano minori di quelle concesse dal Protocollo, la differenza può essere venduta a Paesi che non sono riusciti a mantenersi sotto al limite previsto e che anzi, lo hanno superato. In questo modo si è dato il via al “carbon market”.
- 2) **Clean Development Mechanism:** questo principio permette ai Paesi di attuare progetti per la diminuzione delle emissioni nei Paesi in via di sviluppo. Vengono riconosciuti così dei crediti ai Paesi che applicano questo principio, che si chiamano CER (crediti per riduzione di emissione). Un CER corrisponde ad una tonnellata di CO₂.
- 3) **Joint Implementation:** se un Paese mette in atto dei progetti al fine di ridurre le emissioni in un altro Paese aderente al Protocollo, guadagna ERU (Unità per riduzione di emissioni) che come il CER corrispondono ad una tonnellata di CO₂. (ENAC)

1.3.2. Accordo di Parigi

Un ulteriore provvedimento atto a ridurre le emissioni, è stato approvato nel 2015, durante la Conferenza di Parigi sul clima (COP21), chiamato Accordo di Parigi. Come per il Protocollo di Kyoto, l'entrata in vigore dell'accordo presuppone la sua ratifica da parte di 55 Paesi responsabili di almeno il 55% delle emissioni. Questo Accordo è entrato in vigore nel novembre del 2016 essendo stato ratificato un mese prima, nell'ottobre del 2016.

A differenza del Protocollo di Kyoto però, non si basa sull'analisi e sul calcolo delle emissioni, ma sul rispetto di un limite massimo di aumento della temperatura, causato dalle emissioni. Infatti questo accordo si prefigge di mantenere l'aumento della temperatura a 2 gradi massimo ed eventualmente ad 1.5 gradi.

Inoltre, i Paesi che hanno ratificato l'accordo, si impegnano ad arrivare, il prima possibile, al limite massimo di emissioni di gas serra per poi successivamente ridurlo sulla base di tecniche elaborate in campo scientifico. Quest'ultimo punto in particolare riguarda i Paesi in via di sviluppo. In più i Paesi firmatari dell'accordo si devono riunire ogni cinque anni per fare una valutazione dei progressi, per scambiarsi opinioni sulle modalità di riduzione delle emissioni ed essere trasparenti per quanto riguarda i progressi fatti.

Un ruolo importante non è ricoperto solo dalle nazioni, ma anche dalle realtà locali (Comuni, Province, Regioni ecc) le quali si devono impegnare ad attuare politiche ecosostenibili. (Commissione Europea)

1.4 Assorbimento di anidride carbonica

L'assorbimento di CO₂ è fondamentale per garantire una qualità dell'aria tale da non avere conseguenze catastrofiche. Infatti è proprio la capacità di alcune specie vegetali e di microrganismi presenti in natura di assorbire gas nocivi e rilasciare "aria pulita", che limita i danni causati dall'emissione di inquinanti. Alla base di questa caratteristica fondamentale, tipica specialmente della vegetazione e degli oceani, vi è la presenza di carbonio. Infatti questo elemento crea i presupposti per assimilare tonnellate di CO₂ dall'atmosfera tramite reazioni chimico, fisiche e biologiche. Questo naturale deposito di carbonio è detto "carbon sink".

1.4.1. Vegetazione e fotosintesi clorofilliana

Se da una parte il problema è dovuto all'aumento delle emissioni, dall'altra la deforestazione non fa che peggiorare la situazione. Nel protocollo di Kyoto infatti non sono solo indicati i limiti alle emissioni di gas serra ma è prevista anche la riforestazione come misura aggiuntiva.

Come abbiamo già detto, la vegetazione agisce tramite fotosintesi clorofilliana e questo fa sì che il bilanciamento del sistema sia perfetto in quanto le piante assorbono la CO₂. Il fenomeno della fotosintesi avviene grazie alla presenza di acqua, luce e anidride carbonica. La pianta, tramite specifiche reazioni biochimiche, assorbe CO₂ rilasciando nell'atmosfera ossigeno.

Tuttavia non sempre la natura riesce a sostenere questo “carico” poiché ad un incremento del biossido di carbonio, segue in iniziale incremento delle capacità assorbenti delle piante ma successivamente queste tornano ai livelli iniziali e a volte arrivano persino ad essere esse stesse fonte di emissione. Infatti la capacità di assorbimento dipende anche dal contesto in cui si trova la specie vegetativa.

Attuare una politica di riforestazione è essenziale non solo per migliorare la qualità dell’aria ma anche per restituire alla fauna gli spazi che gli sono stati tolti dopo secoli di devastazione. (Ecol Studio Press)

1.4.2 Oceani

Un importante contributo alla riduzione dell’anidride carbonica nell’atmosfera proviene anche dagli oceani. Infatti questi ultimi hanno una capacità di assorbimento della CO₂ tale da riuscire a sottrarre il 50% circa di quella presente nell’atmosfera. Questo fenomeno avviene poiché gli oceani sono dei serbatoi di microrganismi e contengono circa 38000 Gt di carbonio in grado di immagazzinare l’anidride carbonica.

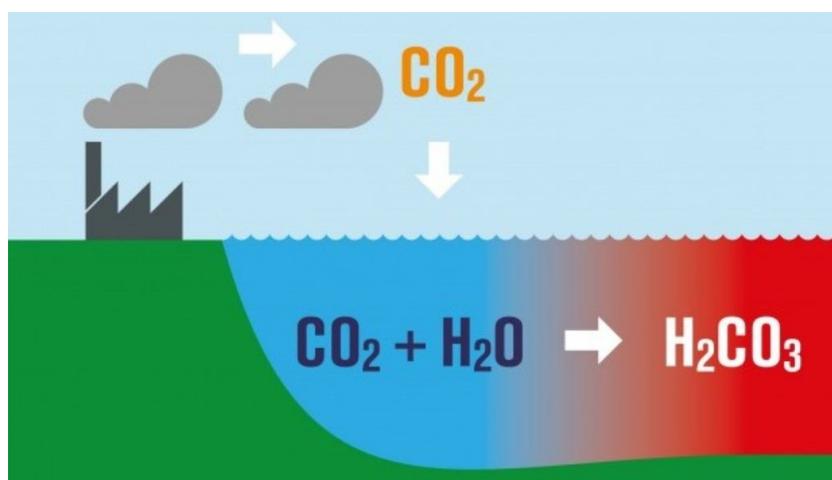


Figura 6 processo di acidificazione degli oceani (PROGETTO RECUPERI SRL, 2017)

Tuttavia questo processo viene rallentato dall’incremento esponenziale di inquinanti in quanto un eccesso di CO₂ tende ad acidificare le acque marine normalmente caratterizzate da un ph di circa 8.2 quindi tendenzialmente alcaline. Come conseguenza di ciò, si viene a creare una catena di effetti negativi che portano alla diminuzione della capacità di assorbimento. Infatti un aumento dell’anidride carbonica acidifica gli oceani, i quali non sono più in grado di svolgere la loro funzione assorbente, come in condizioni di ph normali, e quindi la CO₂ non assorbita viene lasciata nell’atmosfera andandosi ad aggiungere a quella già presente.

Questi fenomeni avvengono principalmente nelle acque superficiali che sono le zone con maggiore esposizione al sole. Gli effetti dell’acidificazione quindi, influenzano principalmente gli organismi presenti a questa profondità. Ad esempio alcuni coralli e conchiglie sono costituite da carbonato di calcio il quale in ambiente acido, tende, per via della carbonatazione, a diventare un composto altamente solubile (bicarbonato di calcio) e finiscono per decomporsi. Per cui anche gli habitat naturali vengono a mancare o a deteriorarsi peggiorando la situazione. (The Royal Society; Prof John Raven FRS; Dr Ken Caldeira; Prof Harry Elderfield FRS; Prof Ove Hoegh-Guldberg; Prof

1.5 Effetti dell'inquinamento

1.5.1 Effetti sull'uomo

L'aria che respiriamo quotidianamente è costituita non solo da gas nocivi ma anche da microparticelle di dimensioni differenti, dell'ordine dei micrometri, chiamate "polveri fini" o "particolato". Questi possono provenire da fonti naturali o antropogeniche e sono distinti in più categorie:

- PM10 di diametro inferiore o uguale ai 10 μm
- PM2.5 di diametro inferiore o uguale ai 2.5 μm

Il D.Lgs. 155/2010 impone dei limiti al particolato: per il PM2.5 prevede un valore limite di 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da raggiungere entro il 2020 mentre per il PM10 è previsto il limite medio alle 24 ore di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (non si deve superare questo limite più di 35 volte l'anno) e di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per quanto riguarda la media annuale. (ISPRA - Gaudioso & Sarti) (ARPA Umbria)

Queste frazioni molto piccole di polvere possono creare seri problemi di salute all'uomo. Infatti più è piccola la particella, maggiore è la sua capacità di penetrare nei polmoni e infine nel sangue. Per questo motivo, l'inalazione di PM2.5 è causa di stati infiammatori respiratori quali bronchiti, polmoniti e malattie cardiovascolari. Le statistiche riguardanti le morti per smog indicano infatti come il rispetto dei limiti, salverebbe la vita a migliaia di persone (in Italia si salverebbero 11 mila persone circa all'anno). (Intini, 2020)

Esiste anche una correlazione tra particolato presente nell'aria e lo sviluppo dei tumori. A tal proposito sono stati condotti degli studi che hanno evidenziato come l'aumento della concentrazione delle particelle PM10 e PM2.5 nell'atmosfera, provoca un aumento dei casi di tumore; questo è dovuto al fatto che la presenza costante di particolato, provoca stati infiammatori cronici i quali hanno una maggior probabilità, rispetto agli stati acuti, di mutare in carcinomi. Per questo motivo l'Agenzia Internazionale per la ricerca sul cancro ha inserito l'inquinamento atmosferico ed il particolato tra le sostanze di classe 1. Queste sostanze sono quelle che, secondo l'ente, provocano sicuramente il cancro. (AIRC - Agenzia Zoe, 2018)

1.5.2. Effetti sulle acque

L'inquinamento delle acque influenza la salubrità di tutto l'ecosistema. L'acqua è infatti alla base della vita e tutti gli esseri viventi presenti sul pianeta attingono a questa risorsa per sopravvivere. Viene da se che, se le acque sono inquinate, ci saranno effetti negativi anche per gli esseri umani, gli animali, la vegetazione. Le acque inquinate sono principalmente quelle di scarico ed in particolar modo quelle industriali in cui sono presenti inquinanti in concentrazioni molto elevate. Per questo

motivo, le acque di scarico, prima di essere immesse di nuovo in natura, vengono sottoposte a trattamento, perché non possano alterare gli equilibri naturali.

Inoltre il sempre maggior aumento di CO₂ nell'aria e di altri inquinanti come i solfati e i nitrati, a contatto con l'acqua piovana, reagiscono e trasformano le acque meteoriche in acque con ph basso, le cosiddette "piogge acide". Come già accennato nel paragrafo 1.4.2., un basso ph in sistemi naturali alcalini o neutri ha effetti negativi in quanto altera lo stato naturale. Oltre agli scarichi industriali e all'anidride carbonica, vi è un uso eccessivo di pesticidi e sostanze chimiche varie utilizzate in agricoltura, che penetrano nel terreno arrivando talvolta fino alle falde.

Bisogna anche fare un'ulteriore distinzione tra acque dolci e acque marine. Infatti le prime, sono quelle maggiormente soggette all'inquinamento dovuto al riversamento dei reflui industriali e fognari, mentre le seconde, oltre ad essere soggette ad acidificazione, sono inquinate a causa della scorretta gestione dei rifiuti come ad esempio la plastica, oppure tramite il riversamento in mare di tonnellate di idrocarburi. (Sito del Dipartimento della Protezione Civile - Presidenza del Consiglio dei Ministri)

Quest'ultimo fenomeno è causato da incidenti navali che interessano principalmente le petroliere e provocano disastri ambientali di notevoli entità; ad esempio nell'incidente avvenuto alle Isole Galapagos nel 2001, la nave petroliera "Jessica" riversò in mare circa un milione di litri di carburante, secondo le prime stime.

Per quanto riguarda i reflui, sono previste dal D.Lgs. 152/2006 (Testo Unico Ambientale) dei limiti da rispettare per le diverse zone di riversamento delle acque e per i diversi tipi di inquinante. Infatti le acque vengono prima di tutto trattate per poter essere riversate, in modo da ridurre i principali macroinquinanti (COD, BOD e TSS), i nutrienti (azoto e fosforo) e tutte quelle sostanze altamente nocive per l'ecosistema.

1.5.3. Effetti sul suolo

Come già accennato nel precedente paragrafo, l'immissione di inquinanti nel suolo influenza le falde presenti in quanto queste sostanze penetrano in profondità e contaminano le acque da cui l'uomo attinge. Purtroppo l'effetto deleterio non è solo questo, poiché queste sostanze, modificano anche la natura chimica del suolo creando effetti avversi come erosione e smottamento. (Sito del Dipartimento della Protezione Civile - Presidenza del Consiglio dei Ministri)

Inoltre, i microrganismi naturalmente presenti nel suolo, assorbendo queste sostanze, portano a modifiche nella catena alimentare, tramite reazioni chimiche e biologiche con gli inquinanti. In generale questi microrganismi non assimilano concentrazioni elevate di sostanze nocive e quindi la catena alimentare non ne risente subito, ma esiste un effetto di bioaccumulo attraverso il quale accumulano queste sostanze nel tempo fino ad arrivare a limiti pericolosi in cui comincia questo effetto a catena. (Liceo Berchet)



Figura 7 U.S. Geological Survey

1.5.4. Scioglimento del permafrost

Il permafrost è un territorio perennemente ghiacciato presente nelle regioni settentrionali della terra ed è chiamato così proprio per la sua permanente natura ghiacciata. In questa zona il ghiaccio presente ha subito fenomeni di scioglimento, soprattutto negli ultimi anni, causato dall'effetto serra e quindi da un riscaldamento terrestre sempre maggiore.

Lo scioglimento del permafrost comporta un effetto a catena che aumenta l'emissione di gas serra nell'atmosfera; infatti nel ghiaccio sono presenti piante e animali morti che sono rimasti intrappolati all'interno, costituendo circa 1600 tonnellate di carbonio e lo scioglimento comporta il rilascio di questo carbonio nell'atmosfera. In generale questo effetto può essere compensato dall'assorbimento di carbonio da parte della vegetazione ma comunque non è sufficiente e una parte inevitabilmente rimarrà nell'atmosfera. Inoltre lo scioglimento provoca la decomposizione degli organismi presenti nel ghiaccio con conseguente rilascio di anidride carbonica, protossido di azoto e metano.

Questi fenomeni provocano reazioni a catena: infatti, se i gas serra provocano lo scioglimento dei ghiacci, questi a loro volta rilasciano altri gas serra per via dei fenomeni sopra citati, aumentando il fenomeno dello scioglimento. Per cui diventa un ciclo che si autoalimenta. (Elidoro, 2019)

Uno studio condotto dal Permafrost Laboratory dell'Università dell'Alaska ha rilevato come lo scioglimento del permafrost sia andato oltre le statistiche. Cioè sta accelerando rispetto a quanto era stato previsto, nello specifico con 70 anni di anticipo. Nello studio sono state considerate le temperature raggiunte dal 2003 al 2016 nel Nord del Canada ed è risultato che la velocità di scioglimento rispetto al ventennio precedente (1979-2000), è del 240%. Questo risultato evidenzia quanto sopra citato, cioè che lo scioglimento, derivando da un ciclo che si autoalimenta, ha proporzioni esponenziali.

Inoltre lo scioglimento del permafrost provoca fenomeni di termo carsismo, cioè il terreno sprofonda e quindi sono presenti molti più laghi e pozzi d'acqua. Lo stesso studio ha monitorato 3 siti sempre nella zona Nord del Canada e ha rilevato uno sprofondamento del terreno fino a 90 cm. (Rinnovabili.it, 2019)

CAPITOLO 2

Con il termine “carbon stock”, si intende lo stoccaggio di carbonio nei “serbatoi agroforestali” (carbon pools). Infatti, grazie al processo naturale noto come fotosintesi clorofilliana, la vegetazione è in grado di sottrarre all’atmosfera una grande quantità di anidride carbonica. In realtà non solo la vegetazione, intesa come componente viva (alberi, piante ecc.), è in grado di assorbire CO₂, ma anche il terreno, il legno, tutte le componenti che costituiscono il suolo e la parte morta della vegetazione.

La maggior parte dei dati che sono serviti all’elaborazione dei calcoli, riguardanti il carbon stock nella Regione Marche, sono stati ricavati dall’Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio del 2005, redatto dal CRA-MPF e dal Corpo Forestale dello Stato. Mentre, la stima sulla distribuzione superficiale delle categorie forestali presenti nelle Marche, è stata presa dall’Inventario delle emissioni in atmosfera della Regione Marche.

Successivamente i dati ricavati relativi al carbon stock, sono serviti per il calcolo del CO₂ stock sempre nella stessa Regione. I modelli di calcolo assunti sono stati quelli del sistema informatico “Inemar” (Inventario Emissioni Regionali) gestito dal 2003 dall’ARPA Lombardia.

Infine si è utilizzato l’Inventario forestale sull’assorbimento del carbonio della Regione Piemonte elaborato dall’IPLA per effettuare un confronto con la Regione Marche.

2.1 Inventario Nazionale

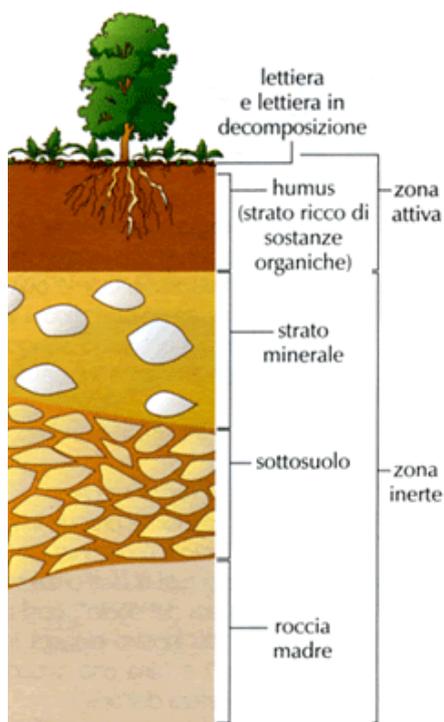
L’Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio del 2005 (INFC 2005), assunto come riferimento per il rilievo del carbon stock, è stato redatto allo scopo di fornire informazioni approfondite ed accurate riguardanti la situazione delle foreste nel nostro Paese. Infatti, a seguito della ratifica del Protocollo di Kyoto, è subentrata la necessità di avere un quadro completo della situazione e della capacità di assorbimento delle categorie forestali presenti in Italia. Fino alla fine degli anni ’90 non erano state effettuate queste valutazioni con precisione e per questo motivo il Corpo Forestale dello Stato avviò lo studio, finanziandolo e coordinandolo, in collaborazione con il CRA-MPF, il quale si è occupato della parte tecnico-scientifica. (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Ispettorato Generale - Corpo Forestale dello Stato. Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale (CRA-MPF).)

Il CRA è il Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura e l’MPF l’Unità di Ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale. Questo ente si occupa della pianificazione per le attività inerenti l’ambito forestale, in particolar modo ha contribuito a creare l’Inventario Nazionale allo scopo di studio e monitoraggio degli ecosistemi forestali, utilizzando strumenti come il GIS o il GPS e pianificando le procedure di campionamento. Questi studi hanno permesso di ricavare le capacità di assorbimento in funzione delle diverse componenti che caratterizzano l’ambiente forestale. (CREA - Consiglio per la ricerca in agricoltura e l’analisi dell’economia agraria)

2.1.1 Carbon pools

Le foreste sono composte da cinque diversi serbatoi, ciascuno con una capacità di assorbimento diversa:

- Biomassa epigea: (dal greco ἐπί - γῆ, ossia sopra la terra) è quella parte della vegetazione che si trova al di sopra del terreno e che rappresenta la componente viva (foglie, rami, fusti ecc.).
- Biomassa ipogea: (ὑπό - γῆ che significa sotto la terra) è l'insieme degli elementi che si trovano a terra, principalmente le radici.
- Necromassa: è la parte morta della vegetazione o che si trova in decomposizione.
 - Suolo e lettiera: è l'insieme delle piccole inflorescenze e dei diversi strati di suolo.



Fonte Einaudi Scuola

Figura 8 Strati del suolo

Il suolo è suddiviso in più strati: è costituito dall'humus che comprende materiale organico e più in profondità è presente lo strato minerale, quest'ultimo considerato avente spessore di 30 cm. Gli strati più profondi come il sottosuolo e la roccia madre non sono tenuti in considerazione ai fini del calcolo. Essendo molto profondi, infatti, la loro capacità di assorbimento è trascurabile ed irrilevante rispetto alle componenti più superficiali che sono invece attive e solitamente esposte agli inquinanti in misura maggiore.

L'INFC2005 è stato redatto considerando il contributo di ciascuna componente dei cinque carbon pools. Infatti questi serbatoi sono suddivisi a loro volta per tenere conto delle diverse capacità di assorbimento di ciascuna frazione della vegetazione. Il campionamento e la successiva elaborazione dei dati, sono stati effettuati dal Corpo Forestale dello Stato e dal CRA-MPF i quali, a seguito di prelievi in sito, hanno esaminato i campioni in fase anidro, ossia in peso secco.

Nello specifico l'Inventario Nazionale suddivide i carbon pools nel seguente modo:

1) Biomassa epigea (componente viva del soprassuolo):

- fitomassa del fusto e dei rami grossi
- fitomassa della ramaglia
- fitomassa della ceppaia.

2) Biomassa ipogea (rinnovazione):

- soggetti con altezza tra 50 e 130 cm
- soggetti con altezza maggiore di 130 cm e diametro inferiore a 2.5 cm
- soggetti con altezza maggiore di 130 cm e diametro compreso tra 2.5 cm e 4.5 cm

3) Necromassa:

- Alberi morti in piedi
- Necromassa a terra
- Necromassa ceppaie residue
- Necromassa fine

Le categorie sopra citate sono espresse in peso secco su ettaro (Mg/ha). Il suolo e la lettiera invece sono espressi in Mg/ha di carbonio organico e suddiviso nel seguente modo:

4) Suolo e lettiera:

- Lettiera
- Orizzonti organici del suolo
- Suolo minerale superficiale
- Suolo minerale profondo

Considerando ciascun serbatoio e le sottocategorie relative, è stato possibile ricavare il carbon stock espresso in tonnellate, conoscendo l'estensione superficiale per ogni categoria forestale presente nella Regione Marche.

(Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Ispettorato Generale - Corpo Forestale dello Stato. Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale (CRA-MPF).)

2.1.2. Distinzione categorie forestali

Le categorie forestali presenti nella Regione Marche, sono: cerrete, robinieti e ailanteti, rimboschimenti a prevalenza di conifere, orno-ostrieti, formazioni riparie, castagneti, boschi di latifoglie varie, pure o miste, arbusteti e cespuglieti, querceti di roverella e di rovere, faggete e leccete.



Figura 9 Conifere

Esse sono di diversa tipologia: alcune comprendono diverse specie arboree (es. Conifere) ed altre sono specifiche tipologie di alberi (es. Castagneti). Queste ultime sono state facilmente individuate nell'INFC 2005 mentre per le macrocategorie è stata necessaria una ricerca più approfondita al fine di individuare le specie arboree che le costituiscono. Infatti nell'INFC 2005 sono presenti le seguenti categorie: boschi di larice e cembro, boschi di abete rosso, boschi di abete bianco, pinete di pino silvestre e montano, pinete di pino nero, laricio e loricato, pinete di pini mediterranei, altri boschi di conifere, pure o miste, faggete, querceti di rovere, roverella e farnia, cerrete, boschi di farnetto, fragno e vallonea, castagneti, ostrieti, carpineti, boschi igrofilo, altri boschi caducifogli, leccete, sugherete, altri boschi di latifoglie sempreverdi. Questi sono tutti appartenenti alla macrocategoria "Boschi alti". Inoltre è presente anche un'altra

macrocategoria, quella degli “impianti di arboricoltura da legno” comprendente i pioppeti artificiali, le piantagioni di altre latifoglie e le piantagioni di conifere.

2.1.2.1 Raggruppamento delle categorie forestali

Ai fini del calcolo, le categorie presenti nell’Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio del 2005, sono state raggruppate in modo tale da rientrare nelle categorie dell’Inventario delle emissioni in atmosfera della Regione Marche. Nei casi in cui ad una categoria appartenevano più specie arboree, è stata fatta la media aritmetica dei valori di ogni singola specie arborea. Nello specifico i dati sono stati assunti come segue:

- **Cerrete:** “Cerrete, boschi di farnetto, fragno e vallonea”.
- **Robinieti – Ailanteti:** la Robinia è una determinata specie arborea come l’Ailanto ed è caducifoglie e perciò si assume come appartenente alla categoria “altri boschi caducifogli”.
- **Rimboschimenti a prevalenza di conifere:** le conifere sono una categoria alla quale appartengono le specie arboree con fogliame a forma di aghetto . A questa categoria appartengono quindi i “boschi di larice e cembro”, i “boschi di Abete rosso”, i “boschi di Abete bianco”, le “pinete di Pino silvestre”, le “pinete di Pino nero, laricio e loricato” e “altri boschi di conifere”. La concentrazione di biomassa ipogea, biomassa epigea, necromassa, suolo e lettiera è data dalla media aritmetica delle categorie citate.
- **Orno – Ostrieti:** “Ostrieti-Carpineti”.
- **Castagneti:** “Castagneti”.
- **Formazioni riparie:** questa macrocategoria è costituita da pioppi, salici ed Ontani. Tutte queste specie arboree sono anche igrofile, cioè sono diffuse principalmente nei pressi dei corsi d’acqua e quindi in zone umide. Per cui si può assumere che appartengono alla macrocategoria “boschi igrofilii”. (ARPA Piemonte - Sistema Nazionale per la Protezione dell’Ambiente)
- **Boschi di latifoglie varie, pure o miste:** a differenza delle conifere, le latifoglie si distinguono per la foglia larga e quindi fanno parte di questa categoria le “Sugherete” e gli “altri boschi di latifoglie sempreverdi”. Come per le conifere in realtà le specie arboree appartenenti a questo gruppo sono di più ma le ritroviamo in categorie più specifiche. Per calcolare la concentrazione di biomassa ipogea, epigea, necromassa, suolo e lettiera, si procede come nel caso dei rimboschimenti di conifere.
- **Arbusteti e cespuglieti:** per questo gruppo si è presa in considerazione la macchia mediterranea in quanto la Regione Marche appartiene a questa zona. I tipi forestali che ne fanno parte sono il pino marittimo e il pino d’Aleppo (Agriligurianet). Ai fini del calcolo quindi si considera la categoria “pinete di pini mediterranei”.
- **Querceti di roverella e di rovere:** “Querceti di rovere, roverella e farnia”.
- **Faggete:** “Faggete”.
- **Leccete:** “Leccete”.



Figura 10 Castagno

2.2 INEMAR

Il sistema informatico INEMAR (INventario EMissioni ARia) è uno strumento importante per la stima delle emissioni di inquinanti ed è gestito dal 2003 dall'ARPA Lombardia. In realtà, essendo un database molto utile, soprattutto in seguito all'attuazione del Protocollo di Kyoto, molte regioni tra cui anche la Regione Marche, ne usufruiscono. In particolare, le regioni che vi hanno aderito, sono: Emilia Romagna, Puglia, Piemonte, Friuli Venezia Giulia e Province Autonome di Trento e Bolzano. Successivamente, dal 2009 al 2011 ha aderito anche la Regione Marche.

INEMAR è un sistema che stima le emissioni e le distingue in base alle diverse caratteristiche qualitative. Infatti contiene diversi macrosettori (11 nello specifico) in base alla sorgente di emissione:

- 1) produzione di energia e trasformazione di combustibili
- 2) impianti di combustione non industriali
- 3) combustione industriale
- 4) processi produttivi
- 5) estrazione e distribuzione di combustibili fossili
- 6) uso di solventi
- 7) trasporto su strada
- 8) altre sorgenti mobili
- 9) trattamento e smaltimento dei rifiuti
- 10) agricoltura
- 11) altre sorgenti e assorbimenti

Oltre a distinguere le varie sorgenti, stima le emissioni anche da un punto di vista spaziale e temporale (INEMAR - ARPA Lombardia).

2.2.1 Stima delle emissioni

La metodologia usata dal sistema informatico INEMAR, si basa su un approccio soprattutto qualitativo, che calcola le emissioni di una data fonte di inquinante, in funzione dell'attività e del fattore di emissione:

$$E_i = A * FE_i \quad (1)$$

E_i è l'emissione dell'inquinante i espressa in tonnellate/anno

A è l'indicatore dell'attività

FE_i è il fattore di emissione

Questa metodologia viene utilizzata in quanto non sempre è facile rilevare le emissioni da parte delle diverse attività. Infatti, per impianti grandi che sono sottoposti a monitoraggio continuo e per i quali sono ben note le sostanze inquinanti rilasciate nell'atmosfera, è facile quantificarne l'impatto ambientale. Per impianti più piccoli invece, è complicato in quanto i rilievi vengono effettuati in

maniera non costante e quindi non si ha un'icona ben definita delle emissioni. Ovviamente se i dati in possesso sono dettagliati, la stima dell'emissione è più precisa e con un margine di errore minore.

Il software è stato inizialmente sviluppato in modo tale da essere usato per la Regione Lombardia, infatti gli inquinanti considerati sono quelli tipici della zona in questione. Essendo comunque una regione con un forte settore industriale, le tipologie di inquinanti sono comunque numerose e l'inventario è in grado di analizzare le seguenti: ossidi di zolfo, ossidi di azoto, composti organici volatili non metanici, metano, monossido di carbonio, anidride carbonica, ammoniaca, protossido di azoto, polveri totali sospese, PM10, PM2.5, metalli pesanti, idrocarburi policiclici aromatici, frazioni del particolato. Di particolare interesse è la stima della CO₂ equivalente, la quale viene calcolata sulla base dei dati ricavati dalla formula (1) ed è ottenuta dalla combinazione delle emissioni di CO₂, metano e protossido di azoto:

$$CO_{2eq} = \sum_i GWP_i * E_i = (E_{CO_2} * GWP_{CO_2}) + (E_{CH_4} * GWP_{CH_4}) + (E_{N_2O} * GWP_{N_2O}) \quad (2)$$

Con GWP "Global Warming Potential" che assume valori diversi a seconda della tipologia di inquinante.

Oltre all'anidride carbonica equivalente, si possono ricavare anche altri fattori inquinanti dovuti a più sostanze aggregate come ad esempio le sostanze acidificanti e i precursori dell'ozono.

L'attività INEMAR considera diverse attività ed applica diverse tipologie di studio delle emissioni, in base all'estensione territoriale di queste. Infatti la sorgente può essere di tipo "puntuale" ossia concentrata in un punto, "diffusa" se è estesa in una vasta zona territoriale e "lineare" cioè distribuita su una linea come ad esempio le strade. A tal scopo sono stati studiati due approcci differenti al problema:

- "bottom up" cioè parte dalla stima delle emissioni locali fino ad arrivare a quelli su territori più estesi.
- "top down" è il contrario della bottom – up, cioè si parte da dati su zone estese fino a ricavare, tramite l'uso di variabili, le emissioni a livello locale.

Per quest'ultimo approccio, si usa la seguente formula che tiene conto delle variabili proxy V, che assumono le caratteristiche di una misurazione ponderata, tenendo quindi conto delle singole circostanze a seconda della zona di interesse:

$$E_{locale} = E_{totale} * V_{locale} / V_{totale} \quad (3)$$

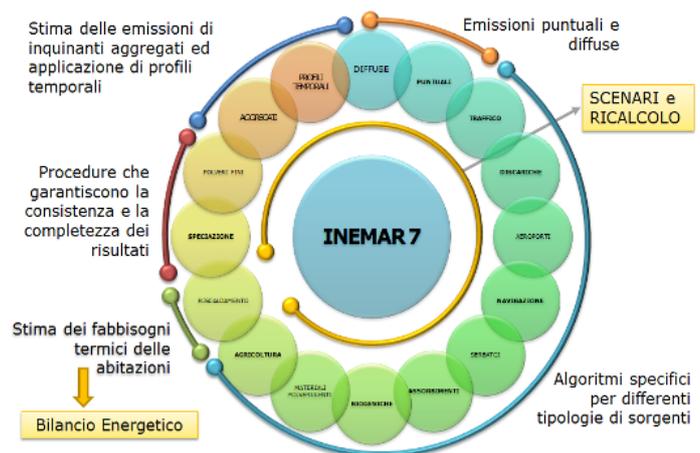


Figura 11 Schema INEMAR (ARPA Lombardia - INEMAR)

Oltre all'approccio spaziale appena descritto, è importante valutare le emissioni anche da un punto di vista temporale in quanto queste variano nell'arco dell'anno, della settimana e della giornata. Per questo motivo l'emissione calcolata con la formula (1), viene moltiplicata per alcuni fattori di conversione, cioè per dei coefficienti che come risultato danno l'emissione oraria o giornaliera o mensile sulla base di quella annua:

$$E_{tempo} = E_{annua} * (\rho_o * \rho_g * \rho_m / (S_o * S_g * S_m)) * (12 * 7 / 365) \quad (4)$$

- ρ_o , ρ_g e ρ_m coefficienti orario, giornaliero e mensile al tempo t.
- S_o , S_g ed S_m rispettivamente somma dei coefficienti orari, somma dei coefficienti giornalieri e somma dei coefficienti mensili.
- $(365/12 * 7)$ indica il numero medio di settimane in un mese.

(ARPA Lombardia - INEMAR)

2.2.2. Sistema For - Est

Nel sistema informatico INEMAR non sono considerate solo le emissioni di inquinanti ma anche gli assorbimenti. In questo contesto troviamo il settore "foreste" che è una componente fondamentale per la diminuzione di CO₂ in quanto la sottrae all'atmosfera.

Il sistema di calcolo degli assorbimenti è detto For - Est ed è un algoritmo che studia il carbon stock e successivamente la CO₂ stock nei cinque carbon pools. È stato sviluppato da ISPRA sulla base delle linee guida della UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), che indicano che la stima deve essere accurata e deve basarsi su dati ufficiali ricavati dagli Inventari Nazionali.

For – Est (Forest Estimates) suddivide le specie forestali presenti nell'INFC 1985 in quattro macrocategorie:

- 1) Fustaie
- 2) Bosco ceduo
- 3) Piantagioni
- 4) Foresta protetta

Sulla base di queste macrocategorie studia la crescita annuale della biomassa (m³/ha) tramite la funzione di Richards:

$$I = \frac{dgss}{dt} * A = \left(\frac{k}{v} * gss \left[1 - \left(\frac{gss}{a} \right)^v \right] + gss_0 \right) * A \quad (5)$$

gss è lo stock di biomassa presente nell'anno preso in considerazione

k è un parametro espresso in anni⁻¹ ed è maggiore di zero

v parametro adimensionale tale che è diverso da zero e compreso tra -1 e ∞

A è la superficie forestale

gss₀ è l'incremento di stock di biomassa

a è un parametro maggiore di zero.

Utilizzando il parametro appena definito, il sistema informatico analizza lo stock nell'anno preso in considerazione, sommando la componente relativa allo stock dell'anno precedente, l'incremento avuto nell'anno corrente I_i ed altri parametri che portano ad una diminuzione dello stock, ossia incendi F_i , calpestio D_i , mortalità della specie vegetativa M_i e tagli di arbusti H_i .

$$gss_i = GS_{i-1} + I_i - H_i - F_i - M_i - D_i \quad (6)$$

Lo stock di crescita gss permette di definire lo stock di carbonio da parte della biomassa epigea, ipogea e necromassa. Lo stock di carbonio nel suolo e nella lettiera viene valutato invece sulla base della biomassa epigea.

Lo stock di carbonio definito da For –Est nell'anno preso in considerazione è quindi la somma dello stock dei cinque carbon pools:

$$\text{Stock } C_t = BE + BI + L + N + S \quad (7)$$

Per quanto riguarda lo stock di anidride carbonica invece, il software indica come metodo di calcolo la seguente formula:

$$\text{Stock } CO_2 = \frac{3.67 * (0.5 * (BE + BI + N) + L + S)}{1000} \quad (8)$$

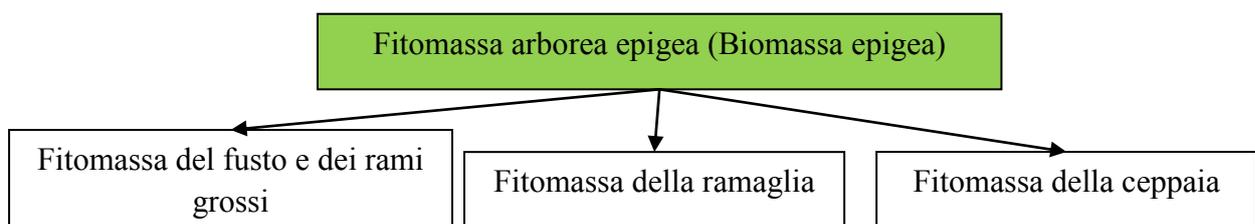
Si assume il valore 3.67 in quanto è il rapporto molare tra anidride carbonica e carbonio (ARPA Lombardia, 2017).

2.2.2.1. Metodo di calcolo del carbon stock e CO_2 stock con metodo INEMAR For – Est

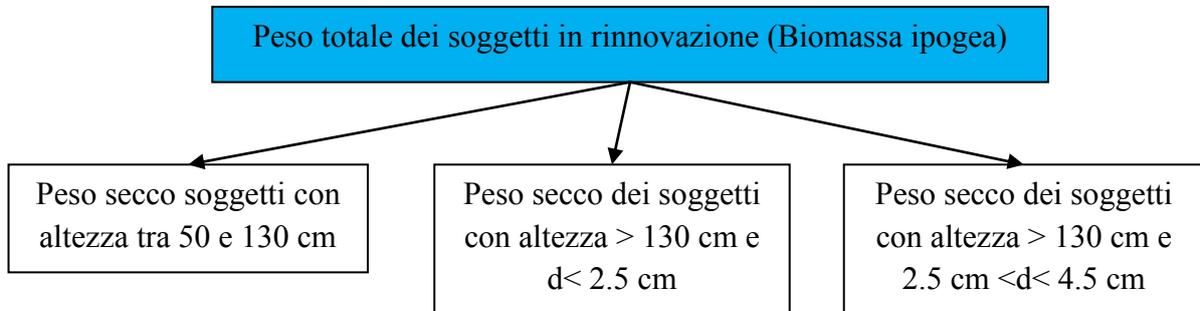
Per la determinazione del carbon stock nelle categorie forestali presenti nell'Inventario delle emissioni in atmosfera della regione Marche, considerando la classificazione delle specie arboree come descritta nel paragrafo 2.1.2.1., si è proceduto con il calcolo delle tonnellate di biomassa ipogea, biomassa epigea, necromassa e di carbonio nel suolo e nella lettiera. Infatti, avendo a disposizione le concentrazioni espresse in Mg/ha (presenti nell'INFC 2005) e conoscendo l'estensione delle specie forestali (ha), moltiplicando questi due fattori è stato possibile ricavare il valore relativo a ciascun carbon pool.

Nell'INFC 2005 ogni categoria è suddivisa in più sottocategorie nel seguente modo:

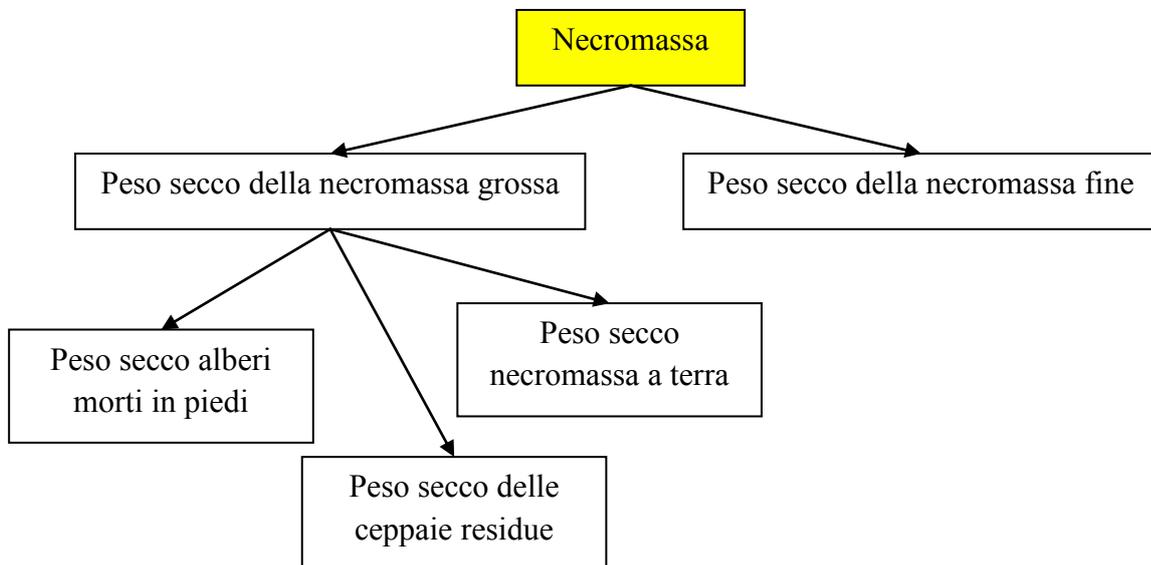
1) Biomassa epigea



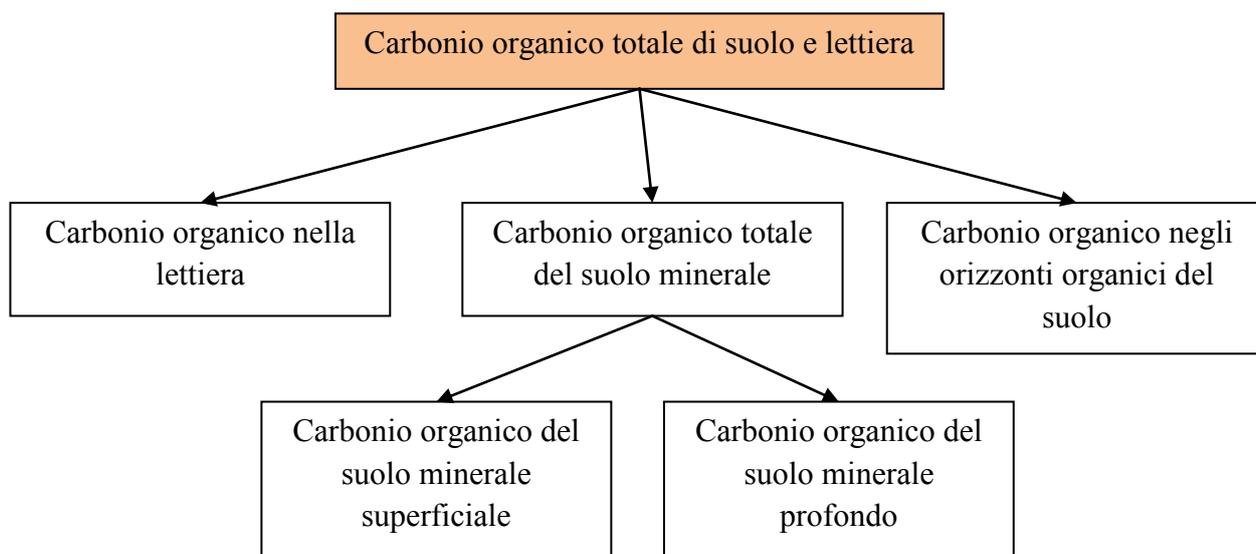
2) Biomassa ipogea



3) Necromassa



4) Suolo e lettiera



Dopo aver determinato ciascun contributo, sono state usate le formule (7) e (8) del sistema For – Est per stimare lo stock di carbonio e lo stock di CO₂ in riferimento all’anno 2005.

2.3 Metodo di calcolo per la stima di carbon stock e CO₂ stock

1	2	3	4	5	6				7	8	9	
					COMPONENTE VIVA DEL SOPRASSUOLO (BIOMASSA EPIGEA)							
					Fitomassa del fusto e dei rami grossi		Fitomassa della ramaglia		Fitomassa della ceppaia		Fitomassa arborea epigea	
CODICE	DESCRIZ	area mq	NOME	PROV	[Mg]		[Mg]		[Mg]		[Mg]	
LE	Leccete	44222	Acqualagna	PU	284,34746		122,494940		4,422200		410,82238	
LE	Leccete	163077	Acqualagna	PU	1048,58511		451,723290		16,307700		1514,98533	
LE	Leccete	263105	Acqualagna	PU	1691,76515		728,800850		26,310500		2444,24545	
LE	Leccete	24092	Acqualagna	PU	154,91156		66,734840		2,409200		223,81468	
LE	Leccete	297434	Acqualagna	PU	1912,50062		823,892180		29,743400		2763,16186	
LE	Leccete	141569	Acqualagna	PU	910,28867		392,146130		14,156900		1315,17601	
LE	Leccete	28180	Acqualagna	PU	181,1974		78,058600		2,818000		261,7922	
LE	Leccete	55154	Acquasanta Terme	AP	354,64022		152,776580		5,515400		512,38066	
LE	Leccete	25431	Acquasanta Terme	AP	163,52133		70,443870		2,543100		236,25399	
LE	Leccete	46610	Acquasanta Terme	AP	299,7023		129,109700		4,661000		433,0069	
LE	Leccete	328782	Acquasanta Terme	AP	2114,06826		910,726140		32,878200		3054,38478	
LE	Leccete	30314	Acquasanta Terme	AP	194,91902		83,969780		3,031400		281,61706	
LE	Leccete	29815	Acquasanta Terme	AP	191,71045		82,587550		2,981500		276,98135	
LE	Leccete	77695	Acquasanta Terme	AP	499,57885		215,215150		7,769500		721,78655	
LE	Leccete	191018	Acquasanta Terme	AP	1228,24574		529,119860		19,101800		1774,55722	
LE	Leccete	306767	Acquasanta Terme	AP	1972,51181		849,744590		30,676700		2849,86543	
LE	Leccete	146219	Ancona	AN	940,18817		405,026630		14,621900		1358,37451	
LE	Leccete	49125	Ancona	AN	315,87375		136,076250		4,912500		456,37125	
LE	Leccete	36442	Ancona	AN	234,32206		100,944340		3,644200		338,54618	
LE	Leccete	2331685	Ancona	AN	14992,73455		6.458,767450		233,168500		21661,35365	
LE	Leccete	100064	Ancona	AN	643,41152		277,177280		10,006400		929,59456	
LE	Leccete	66506	Arcevia	AN	427,63358		184,221620		6,650600		617,84074	
LE	Leccete	101468	Arcevia	AN	652,43924		281,066360		10,146800		942,63772	
LE	Leccete	128345	Arcevia	AN	825,25835		355,515650		12,834500		1192,32505	
LE	Leccete	285892	Arcevia	AN	1838,28556		791,920840		28,589200		2655,93668	
LE	Leccete	50314	Arcevia	AN	323,51902		139,369780		5,031400		467,41706	
LE	Leccete	160106	Ascoli Piceno	AP	1029,48158		443,493620		16,010600		1487,38474	

Figura 12 Estratto dal foglio di calcolo Excel - Calcolo della biomassa epigea

In Figura 12 è rappresentato un estratto dei calcoli svolti per ricavare le diverse componenti di biomassa epigea. Il foglio Excel è suddiviso come segue:

- Colonna 1: Codice della categoria forestale (nell'esempio c'è la dicitura LE che sta ad indicare le leccete, specificate poi in colonna 2).
- Colonna 3: Estensione superficiale della specifica tipologia forestale (espressa in m²).
- Colonna 4: Comuni in cui è presente la specie arborea.
- Colonna 5: Provincia
- Colonna 6: Fitomassa del fusto e dei rami grossi. Nella figura 12 il calcolo è riferito alle leccete. Dall'INFC 2005 si è pertanto ricavato il valore della concentrazione della fitomassa del fusto e dei rami grossi, pari a 64,3 Mg/ha, per poi moltiplicarlo per l'estensione superficiale indicata nella colonna 3.

Prendendo in considerazione solo la prima riga, il calcolo è il seguente:

$$\text{AREA (m}^2\text{)} * 10^{-4} * \text{CONCENTRAZIONE (Mg/ha)} \quad (9)$$

$$44222 \text{ m}^2 * 10^{-4} * 64,3 \text{ Mg/ha} = 284,34 \text{ Mg}$$

- Colonna 7: Fitomassa della ramaglia. Anche in questo caso si applica la formula (9) considerando un diverso valore della concentrazione (27,7 Mg/ha).
- Colonna 8: Fitomassa della ceppaia. Il calcolo è uguale a quello delle colonne 6 e 7 (1 Mg/ha).
- Colonna 9: Fitomassa arborea epigea. I valori ottenuti in questa colonna sono la somma delle colonne 6, 7 e 8. Si può anche applicare la formula (9) in quanto la concentrazione in questo caso è comunque la somma delle concentrazioni dei punti precedenti (92,9 Mg/ha).

Lo stesso procedimento è stato utilizzato anche per il calcolo della necromassa, di suolo e lettiera e della biomassa ipogea.

1	2	3	4	5	10	11	12	13	14
CODICE	DESCRIZIONE	area mq	NOME	PROV	NECROMASSA				
					Peso secco alberi morti in piedi [Mg]	Peso secco necromassa a terra [Mg]	Peso secco delle ceppaie residue [Mg]	Peso secco della necromassa totale [Mg]	Peso secco della necromassa fine [Mg]
CA	Castagneti	176868	Acquasanta Terme	AP	88,434	63,67248	38,91096	189,24876	30,06756
CA	Castagneti	368257	Acquasanta Terme	AP	184,1285	132,57252	81,01654	394,03499	62,60369
CA	Castagneti	27765	Acquasanta Terme	AP	13,8825	9,9954	6,1083	29,70855	4,72005
CA	Castagneti	64898	Acquasanta Terme	AP	32,449	23,36328	14,27756	69,44086	11,03266
CA	Castagneti	21882	Acquasanta Terme	AP	10,941	7,87752	4,81404	23,41374	3,71994
CA	Castagneti	78934	Acquasanta Terme	AP	39,467	28,41624	17,36548	84,45938	13,41878
CA	Castagneti	1725998	Acquasanta Terme	AP	862,999	621,35928	379,71956	1846,81786	293,41966
CA	Castagneti	287924	Acquasanta Terme	AP	143,962	103,65264	63,34328	308,07868	48,94708
CA	Castagneti	71306	Acquasanta Terme	AP	35,653	25,67016	15,68732	76,29742	12,12202
CA	Castagneti	20336	Acquasanta Terme	AP	10,168	7,32096	4,47392	21,75952	3,45712
CA	Castagneti	116324	Acquasanta Terme	AP	58,162	41,87664	25,59128	124,46668	19,77508
CA	Castagneti	61256	Acquasanta Terme	AP	30,628	22,05216	13,47632	65,54392	10,41352
CA	Castagneti	139986	Acquasanta Terme	AP	69,993	50,39496	30,79692	149,78502	23,79762
CA	Castagneti	36572	Acquasanta Terme	AP	18,286	13,16592	8,04584	39,13204	6,21724
CA	Castagneti	55207	Acquasanta Terme	AP	27,6035	19,87452	12,14554	59,07149	9,38519
CA	Castagneti	127800	Acquasanta Terme	AP	63,9	46,008	28,116	136,746	21,726
CA	Castagneti	29800	Acquasanta Terme	AP	14,9	10,728	6,556	31,886	5,066
CA	Castagneti	27408	Acquasanta Terme	AP	13,704	9,86688	6,02976	29,32656	4,65936
CA	Castagneti	43001	Acquasanta Terme	AP	21,5005	15,48036	9,46022	46,01107	7,31017
CA	Castagneti	408311	Acquasanta Terme	AP	204,1555	146,99196	89,82842	436,89277	69,41287
CA	Castagneti	38158	Acquasanta Terme	AP	19,079	13,73688	8,39476	40,82906	6,48686
CA	Castagneti	250340	Acquasanta Terme	AP	125,17	90,1224	55,0748	267,8638	42,5578
CA	Castagneti	415605	Acquasanta Terme	AP	207,8025	149,6178	91,4331	444,69735	70,65285
CA	Castagneti	69514	Acquasanta Terme	AP	34,757	25,02504	15,29308	74,37998	11,81738
CA	Castagneti	23862	Acquasanta Terme	AP	11,931	8,59032	5,24964	25,53234	4,05654
CA	Castagneti	125328	Acquasanta Terme	AP	62,664	45,11808	27,57216	134,10096	21,30576
CA	Castagneti	43428	Acquasanta Terme	AP	21,714	15,63408	9,55416	46,46796	7,38276
CA	Castagneti	86788	Acquasanta Terme	AP	43,394	31,24368	19,09336	92,86316	14,75396
CA	Castagneti	22330	Acquasanta Terme	AP	11,165	8,0388	4,9126	23,8931	3,7961

Figura 13 Estratto dal foglio di calcolo Excel - Calcolo della necromassa

In Figura 13 è illustrato il calcolo della necromassa per la tipologia forestale “castagneti”. In colonna 10 è indicato il peso secco degli alberi morti in piedi, nella 11 il peso secco della necromassa a terra e nella 12 il peso secco delle ceppaie residue. Nella colonna 13 è stato calcolato il peso secco della necromassa totale, intesa come necromassa totale grossa, che comprende le tre categorie precedenti. Infine, nella colonna 14 è indicato il peso secco della necromassa fine. La necromassa totale è data dalla somma dei valori delle colonne 13 e 14. Come già accennato, la formula applicata è sempre la (9).

Dopo aver determinato il peso secco della biomassa epigea e ipogea, della necromassa, del suolo e della lettiera, si applicano le formule (7) e (8).

	BIOMASSA EPIGEA	NECROMASSA	SUOLO E LETTIERA	BIOMASSA IPOGEA	CARBON STOCK	CO2 STOCK
Castagneti	528110,0266	53501,34256	255425,7645	25024,82152	862061,9551	2050,589965

Figura 14 Estratto dal foglio di calcolo Excel - Calcolo del carbon stock e del CO2 stock

Nell'esempio in figura 14, dopo aver determinato i singoli carbon pool, si è proceduto al calcolo del carbon stock e CO₂ stock (formule INEMAR):

$$\text{Stock}_{\text{carbonio}} = 528110,0266 + 53501,34256 + 255425,7645 + 25024,8215 = \mathbf{862061,95 \text{ Mg}}$$

$$\text{Stock}_{\text{CO}_2} = \frac{3,67 \cdot (255425,7645 + 0,5 \cdot (528110,0266 + 53501,34256 + 25024,82152))}{1000} = \mathbf{2050,58 \text{ Mg.}}$$

2.4 Carbon stock nel Piemonte

Al termine dello studio sopra esposto, si è proceduto ad una ricerca sul carbon stock di altre Regioni con clima ed estensione forestale diversa da quella della Regione Marche. L'Istituto IPLA (Istituto per le Piante da legno e l'ambiente) ha elaborato il carbon stock del Piemonte, frutto di ricerche durate 10 anni. Questo Istituto infatti si occupa della ricerca sull'ambiente e dell'attività di monitoraggio e assistenza tecnologica.

Nello specifico la ricerca effettuata dall'IPLA si è basata sull'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio del 1985 con l'aiuto del sistema informativo pedologico e di una stazione di misurazione “eddy covariance”, facente parte del sistema Carboeurope – CarboItaly, situata nel parco “La Mandria” in provincia di Torino. (Gottero, Franco; Terzuolo, Pier Giorgio; Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente IPLA S.p.A. Torino - Regione Piemonte, 2011) (Petrella, Fabio; Piazzini, Mauro; IPLA)

I risultati ricavati dallo studio condotto, sono i seguenti:

	Superficie forestale	Biomassa epigea	Biomassa ipogea	Necromassa	Lettieria	Suolo
Totale	993355 (ha)	54439361 (t)	10676643 (t)	7277099 (t)	6811345 (t)	78806300 (t)

Figura 15 Carbon stock Regione Piemonte dal rapporto IPLA

CAPITOLO 3

La Regione Marche si trova in una fascia di clima sub continentale, si affaccia sul Mar Adriatico ed è caratterizzata da estati calde ed inverni freddi, mitigati dalla presenza del mare. Il territorio è principalmente collinare e montano con conseguente variazione climatica tra le diverse zone. Inoltre il clima ha una forte influenza sullo sviluppo delle specie forestali presenti sul territorio.

L'estensione totale della superficie forestale nella Regione Marche è di 229198,2786 ha e nello specifico è suddivisa, su base provinciale, nel seguente modo:

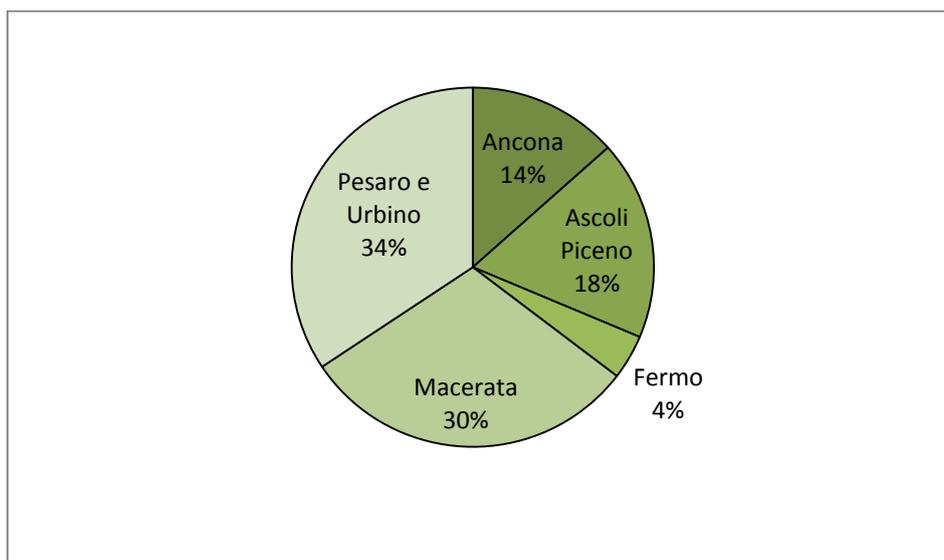


Figura 16 Distribuzione della superficie forestale nella Regione Marche - Inventario delle emissioni in atmosfera della Regione Marche

Considerando la superficie di ciascuna provincia (ISTAT- Istituto Nazionale di Statistica) e mettendola a confronto con quella occupata dalle foreste, risulta che Ascoli Piceno è la Provincia più “verde” in quanto le foreste ricoprono circa il 25% della superficie totale della Provincia. È seguita da Pesaro e Urbino (23%), Macerata (20%), Ancona (14%) ed infine la Provincia di Fermo (10%).

Come già specificato nel Capitolo 2, le categorie forestali che caratterizzano il territorio delle Marche, sono:

- Cerrete
- Robinieti – Ailanteti
- Rimboschimenti a prevalenza di conifere
- Orno – Ostrieti
- Formazioni riparie
- Castagneti
- Boschi di latifoglie varie, pure o miste
- Arbusteti e cespuglieti

- Querceti di roverella e di rovere
- Faggete
- Leccete

La distribuzione delle categorie sopra citate è la seguente:

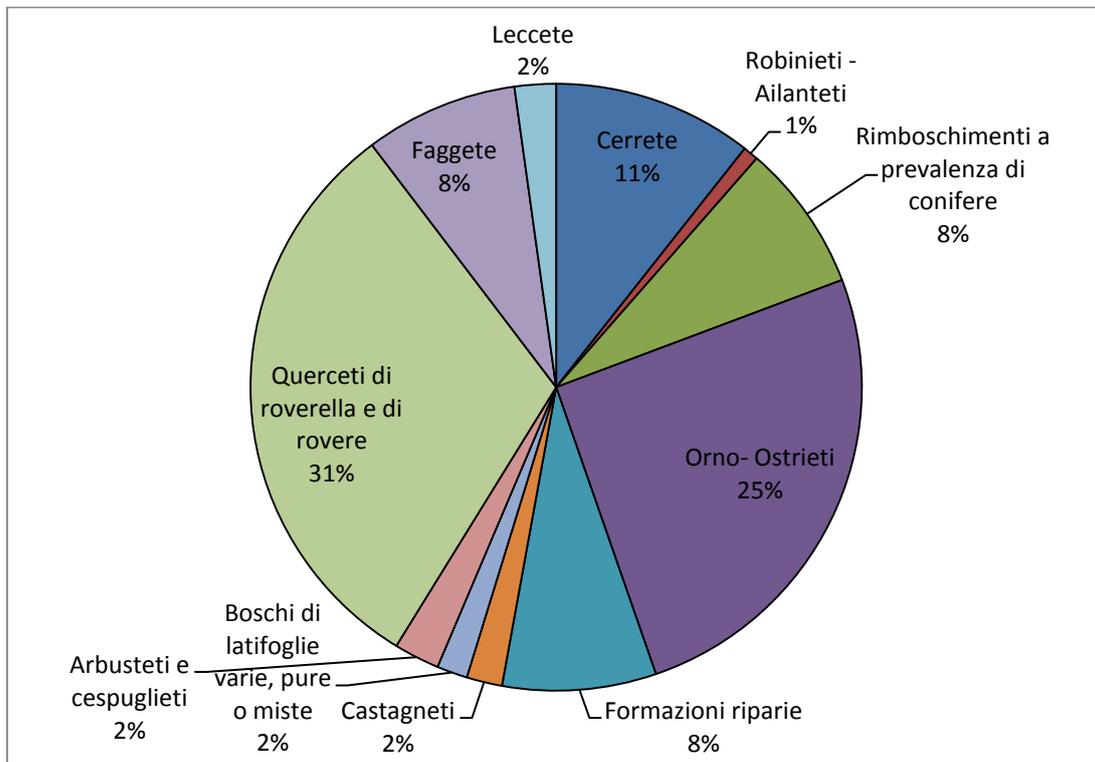


Figura 17 Specie forestali nella Regione Marche

Come si può notare, circa 1/3 della superficie forestale è ricoperta da querceti di roverella e di rovere, che è la specie predominante ed ha un'estensione superficiale di 70950,42 ha.

Tuttavia la percentuale di una specie forestale non ha sempre un grande impatto sulla capacità di assorbimento. Questa, infatti, varia soprattutto sulla base delle caratteristiche bio – chimiche della singola specie. Come vedremo nei paragrafi successivi, ogni tipologia di albero ha una capacità di carbon stock e CO₂ stock diversa dall'altra, per cui la predominanza di una specie rispetto ad un'altra non è indice di maggiore capacità di assorbimento.

Questi dati sono stati ricavati dall'Inventario delle emissioni in atmosfera della Regione Marche, per il quale è stato utilizzato il sistema di rilevamento GIS (Geographic Information System). Questo sistema informatico consente un'analisi approfondita delle caratteristiche del territorio.

3.1 Specie forestali, carbon stock e CO₂ stock

Ai fini del calcolo delle singole componenti, sono stati assunti dall'INFC 2005 (Corpo Forestale dello Stato. Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale (CRA-MPF).) i dati riguardanti la concentrazione della fitomassa (biomassa epigea), necromassa, rinnovazione (biomassa ipogea), suolo e lettiera.

Per quanto riguarda l'estensione superficiale delle singole tipologie forestali, sono stati assunti i dati dall'Inventario delle emissioni in atmosfera della Regione Marche.

Infine, per il calcolo del carbon stock e CO₂ stock sono state utilizzate le formule del sistema informatico INEMAR For – Est, nello specifico la (7) e la (8) del paragrafo 2.2.2.

3.1.1 Cerrete

Le cerrete sono foreste di cerro (nome latino *Quercus cerri*), una specie arborea caratterizzata da fusti alti fino a 35 m e dalla presenza di ghiande ed è presente soprattutto nella zona degli Appennini (Piante.it).

Infatti, nella Regione Marche, ha la maggiore estensione superficiale nella zona interna che si affaccia sulla dorsale appenninica, e principalmente nelle Province di Pesaro e Urbino e di Macerata (Comuni di Borgo Pace, Cagli, Apecchio, Serravalle di Chienti ecc.) (Inventario delle emissioni in atmosfera della Regione Marche).

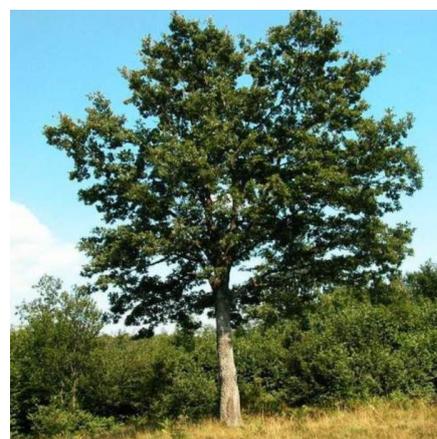


Figura 18 Albero di cerro

Superficie forestale cerrete	24258,4559 ha
-------------------------------------	----------------------

Componente viva del soprassuolo - Biomassa epigea (BE)

Fitomassa del fusto e dei rami grossi [Mg]	Fitomassa della ramaglia [Mg]	Fitomassa della ceppaia [Mg]	Fitomassa arborea epigea (Biomassa epigea) [Mg]
1678685,148	402690,3679	48516,9118	2129892,428

Rinnovazione - Biomassa ipogea (BI)

Peso secco dei soggetti con altezza tra 50 cm e 130 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e d < 2,5 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e 2,5 cm < d < 4,5 cm [Mg]	Peso totale dei soggetti in rinnovazione (Biomassa ipogea) [Mg]
4851,69118	48516,9118	38813,52994	92182,13242

Necromassa (N)

Peso secco alberi morti in piedi [Mg]	Peso secco necromassa a terra [Mg]	Peso secco delle ceppaie residue [Mg]	Peso secco della necromassa totale [Mg]	Peso secco della necromassa fine [Mg]
12129,22795	2425,84559	7277,53677	21832,61031	12129,228

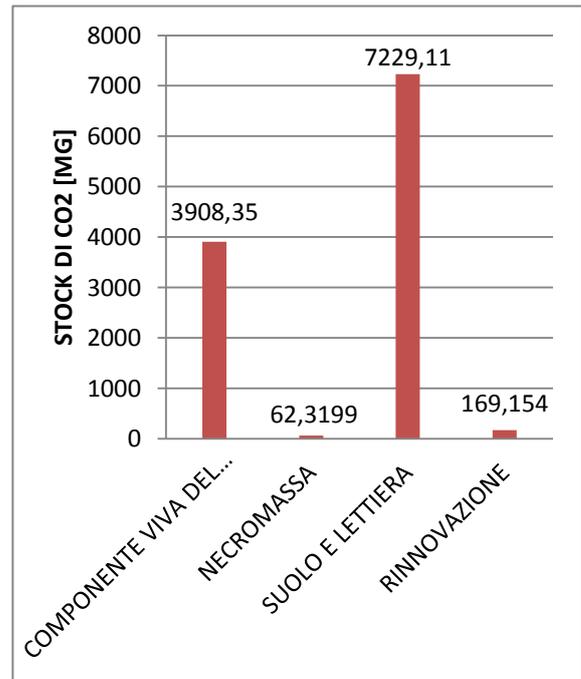
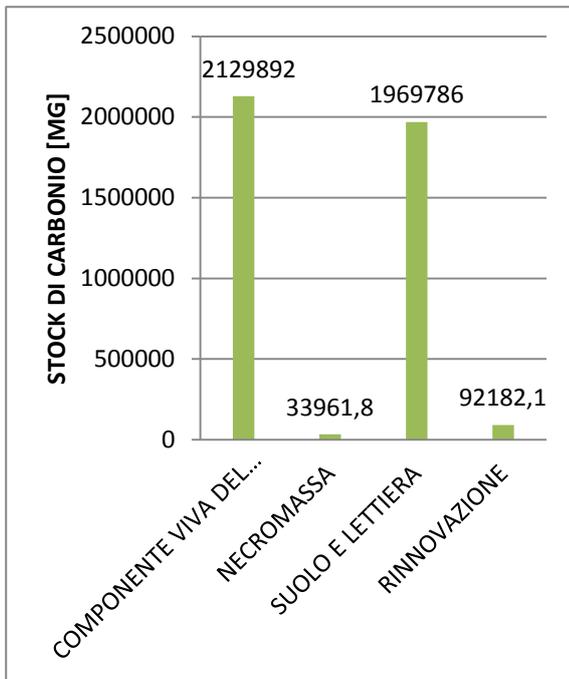
Necromassa totale $21832,61031 + 12129,228 = 33961,83826$ Mg

Suolo e lettiera (S e L)

Carbonio organico nella lettiera [Mg]	Carbonio organico negli orizzonti organici del suolo [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale superficiale [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale profondo [Mg]	Carbonio organico totale di suolo e lettiera [Mg]
50942,75739	99459,66919	938802,2433	880581,9492	1969786,619

Carbon stock **4225823,018 Mg**

CO₂ stock **11368,94368 Mg**



Dai grafici sul carbon stock e CO₂ stock si evince che, nel caso delle Cerrete, il maggior contributo proviene principalmente dal suolo e dalla lettiera e dalla biomassa epigea. La necromassa è la componente che contribuisce meno allo stoccaggio sia di carbonio che di anidride carbonica.

Inoltre nel caso dello stock di carbonio la componente più rilevante è quella viva del soprassuolo, ossia della biomassa epigea mentre, nel caso dello stock di anidride carbonica, il maggior contributo lo danno suolo e lettiera. Questo risultato si spiega con il fatto che, secondo INEMAR, il carbon stock è la somma di tutte le categorie, mentre per lo stoccaggio di anidride carbonica è considerato il 50% delle seguenti componenti: necromassa, biomassa epigea e biomassa ipogea. Il contributo di carbonio di suolo e lettiera non subisce riduzione nel calcolo.

3.1.2 Robinieti – Ailanteti

La robinia, come l'ailanto, è una specie arborea che, nella regione Marche, è principalmente diffusa nella zona di Pesaro e Urbino. Sono entrambi caducifogli, ossia perdono le foglie nei mesi invernali e non sono autoctone.

Infatti la robinia fu portata in Europa dall'America nel 1600 circa e l'ailanto dall'Asia. L'altezza del tronco si aggira mediamente intorno ai 20 – 25 metri. (Regione Lombardia - Lombardia Osservatorio Regionale della Biodiversità) (Regione Lombardia - Lombardia Osservatorio Regionale della Biodiversità).



Figura 19 Robinia

<i>Superficie forestale robinieti - ailanteti</i>	<i>1856,0270 ha</i>
---	---------------------

Componente viva del soprassuolo - Biomassa epigea (BE)

Fitomassa del fusto e dei rami grossi [Mg]	Fitomassa della ramaglia [Mg]	Fitomassa della ceppaia [Mg]	Fitomassa arborea epigea (Biomassa epigea) [Mg]
81850,7907	31366,8563	2784,0405	115816,0848

Rinnovazione - Biomassa ipogea (BI)

Peso secco dei soggetti con altezza tra 50 cm e 130 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e d < 2,5 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e 2,5 cm < d < 4,5 cm [Mg]	Peso totale dei soggetti in rinnovazione (Biomassa ipogea) [Mg]
185,6027	3340,8486	10208,1485	13920,2025

Necromassa (N)

Peso secco alberi morti in piedi [Mg]	Peso secco necromassa a terra [Mg]	Peso secco delle ceppaie residue [Mg]	Peso secco della necromassa totale [Mg]	Peso secco della necromassa fine [Mg]
1299,2189	1113,6162	742,4108	3155,2459	742,41

Necromassa totale	3897,6559 Mg
-------------------	---------------------

Suolo e lettiera (S e L)

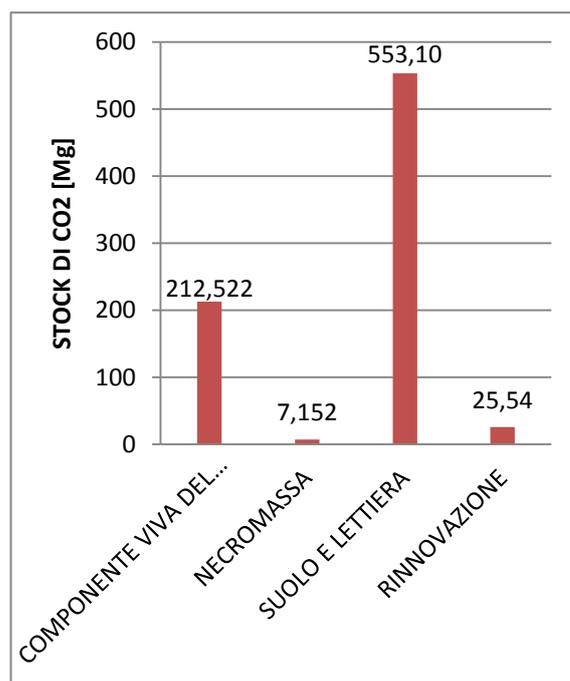
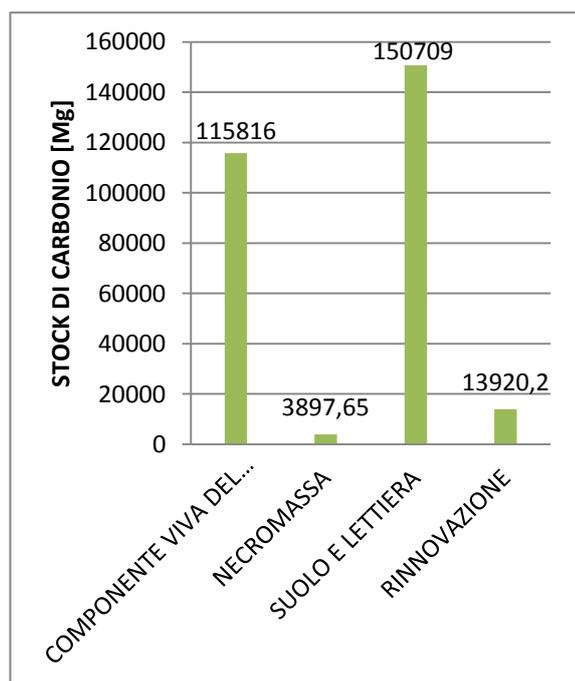
Carbonio organico nella lettiera [Mg]	Carbonio organico negli orizzonti organici del suolo [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale superficiale [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale profondo [Mg]	Carbonio organico totale di suolo e lettiera [Mg]
2969,6432	2784,0405	71828,2449	73127,4638	150709,3924

Carbon stock

284343,335 Mg

CO₂ stock

798,3217 Mg



Anche in questo caso, gli elementi che danno il maggior contributo sono il suolo e la lettiera e la biomassa epigea. A differenza delle cerrete però, questo primato è detenuto sia nel caso del carbon stock che dello stock di anidride carbonica.

3.1.3 Rimboschimenti a prevalenza di conifere

Come già accennato nel capitolo 2, le conifere sono un insieme di specie arboree la cui caratteristica principale sono le foglie a forma di aghetto. Siccome comprende più tipologie di alberi, l'altezza del tronco dipende dal singolo albero.

Le conifere più note sono gli abeti, i larici e i pini. Nelle Marche sono principalmente diffuse nelle Province di Pesaro e Urbino e Macerata.

Ai fini del calcolo sono state considerate appartenenti a questa categoria le seguenti specie arboree presenti nell'INFC 2005: boschi di larice e cembro, boschi di abete rosso, boschi di abete bianco, pinete di pino silvestre, pinete di pino nero, laricio e loricato e altri boschi di conifere, pure o miste. Infatti, per calcolare i contributi di ogni carbon pool, è stata fatta la media aritmetica delle concentrazioni delle singole specie escludendo i valori pari a 0 Mg/ha in quanto sono dati trascurabili. Ad esempio, per determinare la fitomassa del fusto e dei rami grossi, si è proceduto nel seguente modo:



Figura 20 Alberi di conifere

	Boschi di larice e cembro	Boschi di abete rosso	Boschi di abete bianco	Pinete di pino silvestre	Pinete di pino nero, laricio e loricato	Altri boschi di conifere, pure o miste
Concentrazione di fitomassa del fusto e dei rami grossi	0 Mg/ha	44,2 Mg/ha	0 Mg/ha	0 Mg/ha	69,6 Mg/ha	38,5 Mg/ha

Concentrazione media di fitomassa del fusto e dei rami grossi = 50,77 Mg/ha.

Superficie forestale rimboschimenti a prevalenza di conifere	17997,6134 ha
---	----------------------

Componente viva del soprassuolo - Biomassa epigea (BE)

Fitomassa del fusto e dei rami grossi [Mg]	Fitomassa della ramaglia [Mg]	Fitomassa della ceppaia [Mg]	Fitomassa arborea epigea (Biomassa epigea) [Mg]
913738,8323	373810,430318	21057,207678	1308426,494

Rinnovazione - Biomassa ipogea (BI)

Peso secco dei soggetti con altezza tra 50 cm e 130 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e d < 2,5 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e 2,5 cm < d < 4,5 cm [Mg]	Peso totale dei soggetti in rinnovazione (Biomassa ipogea) [Mg]
4859,355618	21597,13608	28796,18144	55252,67314

Necromassa (N)

Peso secco alberi morti in piedi [Mg]	Peso secco necromassa a terra [Mg]	Peso secco delle ceppaie residue [Mg]	Peso secco della necromassa totale [Mg]	Peso secco della necromassa fine [Mg]
14398,09072	16197,85206	1259,832938	31855,77572	26456,4917

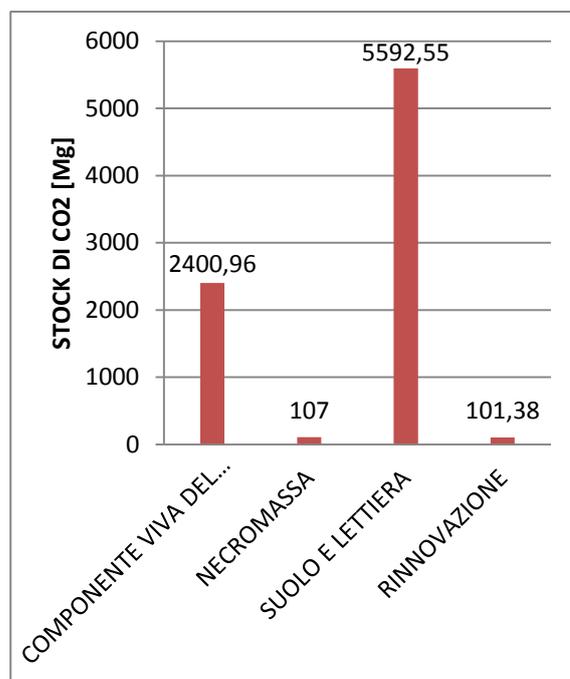
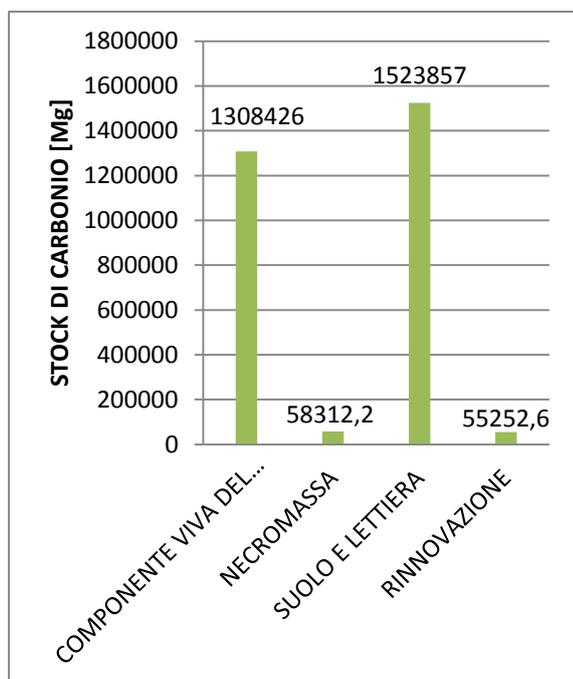
Necromassa totale **58312,26742 Mg**

Suolo e lettiera (S e L)

Carbonio organico nella lettiera [Mg]	Carbonio organico negli orizzonti organici del suolo [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale superficiale [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale profondo [Mg]	Carbonio organico totale di suolo e lettiera [Mg]
30056,01438	39594,74948	760759,1184	693628,0204	1523857,927

Carbon stock **2945849,361 Mg**

CO₂ stock **8201,912873 Mg**



Dai risultati emerge che il suolo e la lettiera, anche in questo caso, sono i pool che rendono maggiormente. Si evince inoltre che necromassa e rinnovazione (biomassa ipogea) danno un contributo trascurabile rispetto alle altre componenti.

3.1.4 Orno – Ostrieti

Il gruppo degli orno ostrieti è costituito da diverse tipologie di alberi. Le specie predominanti di questa categoria sono il carpino nero e l'orniello. Generalmente queste specie preferiscono le zone collinari e montane (Agriligurianet). Nella regione Marche sono situate principalmente nella zona di Pesaro e Urbino con massima estensione nel comune di Cagli che appunto è una zona interna alla Provincia e montuosa.



Figura 21 Carpino nero

<i>Superficie forestale orno - ostrieti</i>	<i>58356,6293 ha</i>
---	----------------------

Componente viva del soprassuolo - Biomassa epigea (BE)

Fitomassa del fusto e dei rami grossi [Mg]	Fitomassa della ramaglia [Mg]	Fitomassa della ceppaia [Mg]	Fitomassa arborea epigea (Biomassa epigea) [Mg]
2048317,688	1027076,675680	93370,606880	3168764,971

Rinnovazione - Biomassa ipogea (BI)

Peso secco dei soggetti con altezza tra 50 cm e 130 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e d < 2,5 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e 2,5 cm < d < 4,5 cm [Mg]	Peso totale dei soggetti in rinnovazione (Biomassa ipogea) [Mg]
23342,65172	215919,5284	560223,6413	805321,4843

Necromassa (N)

Peso secco alberi morti in piedi [Mg]	Peso secco necromassa a terra [Mg]	Peso secco delle ceppaie residue [Mg]	Peso secco della necromassa totale [Mg]	Peso secco della necromassa fine [Mg]
29178,31465	5835,66293	23342,65172	52520,96637	23342,65172

Necromassa totale

75863,61809 Mg

Suolo e lettiera (S e L)

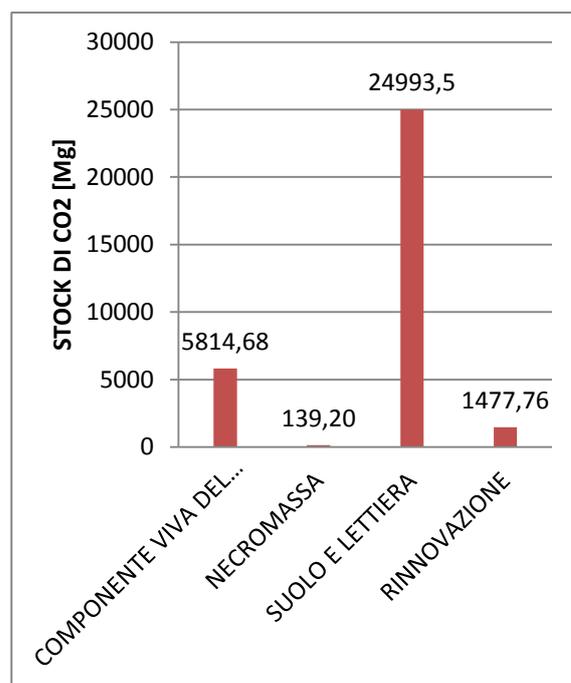
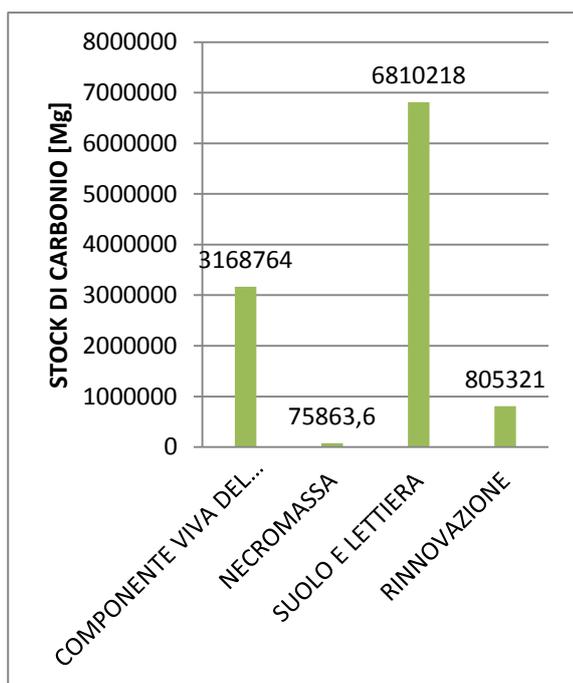
Carbonio organico nella lettiera [Mg]	Carbonio organico negli orizzonti organici del suolo [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale superficiale [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale profondo [Mg]	Carbonio organico totale di suolo e lettiera [Mg]
46685,30344	198412,5396	2754432,903	3804852,23	6810218,639

Carbon stock

10860168,71 Mg

CO₂ stock

32425,16079 Mg



Anche in questo caso si conferma la tendenza del suolo e della lettiera ad essere la principale componente di carbon stock e CO₂ stock.

3.1.5 Formazioni riparie

Come già spiegato nel capitolo 2, le formazioni riparie sono anche esse macrocategorie che comprendono più specie arboree. Nel particolare sono specie che richiedono la presenza di acqua nelle vicinanze e sono quindi igrofile. Gli alberi più rappresentativi di questa categoria sono i pioppi, i salici e gli ontani. (ARPA Piemonte - Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente)



Figura 22 Salice

Superficie forestale formazioni riparie	18641,3323 ha
--	----------------------

Componente viva del soprassuolo - Biomassa epigea (BE)

Fitomassa del fusto e dei rami grossi [Mg]	Fitomassa della ramaglia [Mg]	Fitomassa della ceppaia [Mg]	Fitomassa arborea epigea (Biomassa epigea) [Mg]
1073740,74	387739,711840	33554,398140	1495034,85

Rinnovazione - Biomassa ipogea (BI)

Peso secco dei soggetti con altezza tra 50 cm e 130 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e d < 2,5 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e 2,5 cm < d < 4,5 cm [Mg]	Peso totale dei soggetti in rinnovazione (Biomassa ipogea) [Mg]
1864,13323	9320,66615	13048,93261	22369,59876

Necromassa (N)

Peso secco alberi morti in piedi [Mg]	Peso secco necromassa a terra [Mg]	Peso secco delle ceppaie residue [Mg]	Peso secco della necromassa totale [Mg]	Peso secco della necromassa fine [Mg]
76429,46243	29826,13168	1864,13323	108119,7273	11184,8

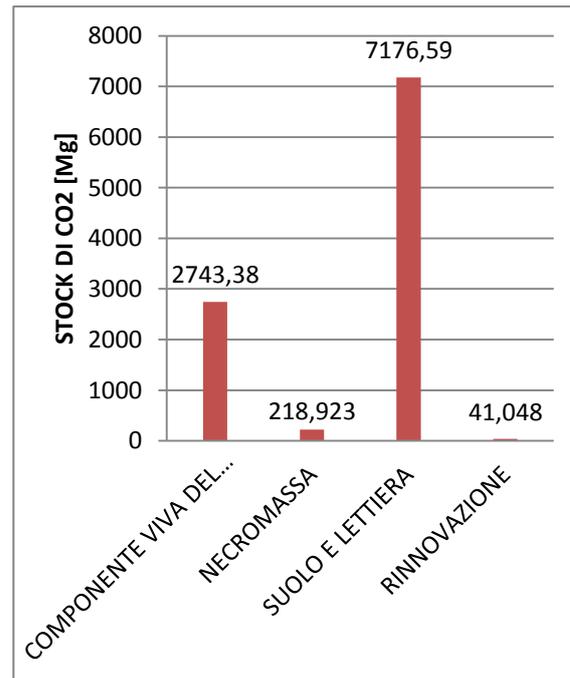
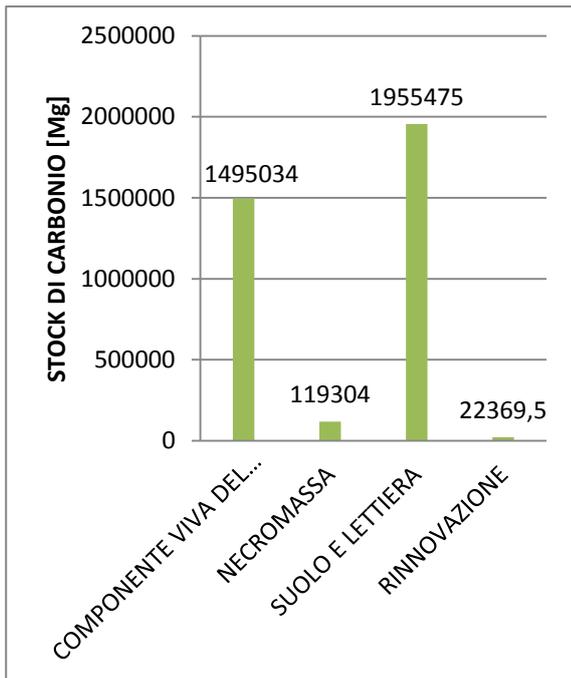
Necromassa totale **119304,5267 Mg**

Suolo e lettiera (S e L)

Carbonio organico nella lettiera [Mg]	Carbonio organico negli orizzonti organici del suolo [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale superficiale [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale profondo [Mg]	Carbonio organico totale di suolo e lettiera [Mg]
16777,19907	29826,13168	773615,2905	1135257,137	1955475,758

Carbon stock 3592184,734 Mg

CO₂ stock 10179,957 Mg



A differenza delle altre categorie, è evidente come la necromassa delle formazioni riparie garantisca un carbon stock e CO₂ stock maggiore della rinnovazione.

3.1.6 Castagneti

I castagneti sono foreste di castagno, famoso per i frutti che ne derivano. È una specie arborea presente specialmente nell'Europa meridionale, nell'Asia occidentale e nel Nord Africa. Questo albero arriva ad un'altezza di circa 30 m (Piante.it). Nella regione Marche è principalmente diffuso nella provincia di Ascoli Piceno.



Figura 23 Castagno

Superficie forestale castagneti	4314,6244 ha
--	---------------------

Componente viva del soprassuolo - Biomassa epigea (BE)

Fitomassa del fusto e dei rami grossi [Mg]	Fitomassa della ramaglia [Mg]	Fitomassa della ceppaia [Mg]	Fitomassa arborea epigea (Biomassa epigea) [Mg]
403417,3814	111748,771960	13375,335640	528110,0266

Rinnovazione - Biomassa ipogea (BI)

Peso secco dei soggetti con altezza tra 50 cm e 130 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e d < 2,5 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e 2,5 cm < d < 4,5 cm [Mg]	Peso totale dei soggetti in rinnovazione (Biomassa ipogea) [Mg]
862,92488	7334,86148	16395,57272	25024,82152

Necromassa (N)

Peso secco alberi morti in piedi [Mg]	Peso secco necromassa a terra [Mg]	Peso secco delle ceppaie residue [Mg]	Peso secco della necromassa totale [Mg]	Peso secco della necromassa fine [Mg]
21573,122	15532,64784	9492,17368	46166,48108	7334,86148

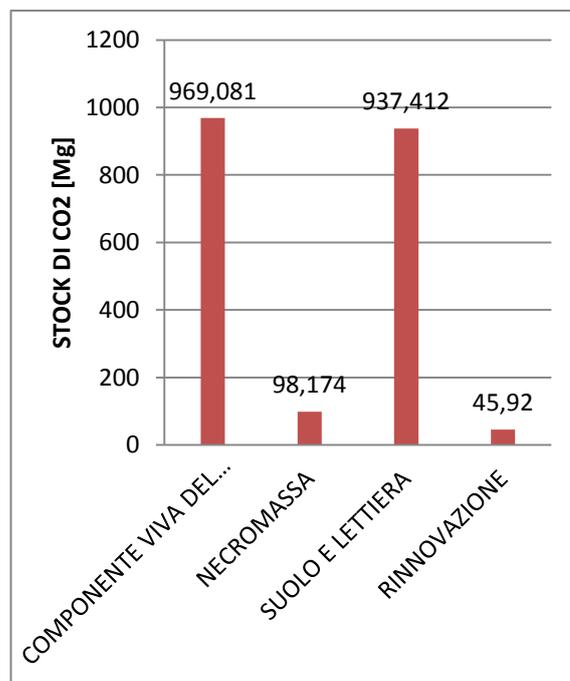
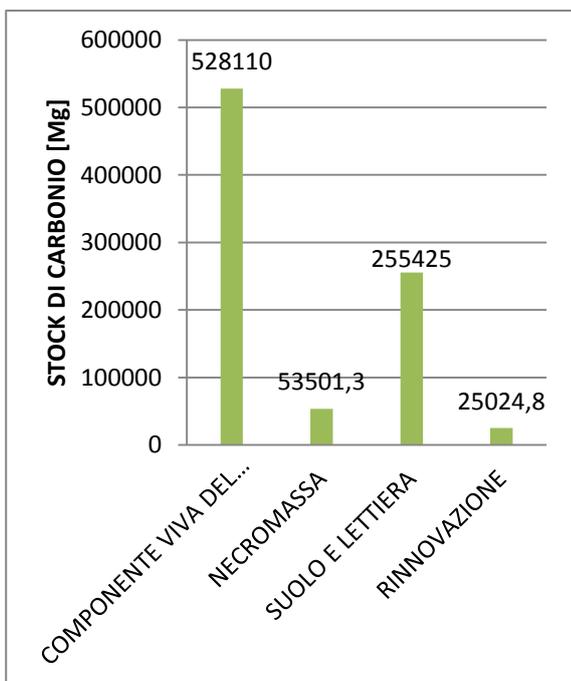
Necromassa totale **53501,34256 Mg**

Suolo e lettiera (S e L)

Carbonio organico nella lettiera [Mg]	Carbonio organico negli orizzonti organici del suolo [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale superficiale [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale profondo [Mg]	Carbonio organico totale di suolo e lettiera [Mg]
7334,86148	1725,84976	119515,0959	126849,9574	255425,7645

Carbon stock **862061,9551 Mg**

CO₂ stock **2050,589965 Mg**



Anche in questo caso, come nelle formazioni riparie, la componente della necromassa supera quella della rinnovazione. Inoltre, è l'unica categoria forestale in cui la biomassa epigea è più importante del suolo e della lettiera in termini di contributo al carbon stock e al CO₂ stock.

3.1.7 Boschi di latifoglie varie, pure o miste

Le latifoglie sono una categoria forestale caratterizzata da alberi e piante a foglie larghe. Comprendono una grande varietà di tipologie arboree, possiamo infatti dire che in natura la maggior parte degli alberi sono latifoglie. Sono considerate appartenenti a questa specie, le “sugherete”. Ai fini del calcolo si è considerata anche la categoria “altri boschi di latifoglie sempreverdi” presenti nell’INFC 2005. Le sugherete arrivano anche a 20 m e vivono mediamente per 250 – 300 anni (Biosost, 2019). Il metodo di calcolo è lo stesso utilizzato per le conifere.



Figura 24 Albero latifoglie

Superficie forestale latifoglie varie, pure o miste	3712,5623ha
--	--------------------

Componente viva del soprassuolo - Biomassa epigea (BE)

Fitomassa del fusto e dei rami grossi [Mg]	Fitomassa della ramaglia [Mg]	Fitomassa della ceppaia [Mg]	Fitomassa arborea epigea (Biomassa epigea) [Mg]
129568,4243	34526,829390	3341,306070	167436,5597

Rinnovazione - Biomassa ipogea (BI)

Peso secco dei soggetti con altezza tra 50 cm e 130 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e d < 2,5 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e 2,5 cm < d < 4,5 cm [Mg]	Peso totale dei soggetti in rinnovazione (Biomassa ipogea) [Mg]
371,25623	3155,677955	3526,934185	7053,86837

Necromassa (N)

Peso secco alberi morti in piedi [Mg]	Peso secco necromassa a terra [Mg]	Peso secco delle ceppaie residue [Mg]	Peso secco della necromassa totale [Mg]	Peso secco della necromassa fine [Mg]
2041,909265	928,140575	742,51246	3526,934185	2598,79361

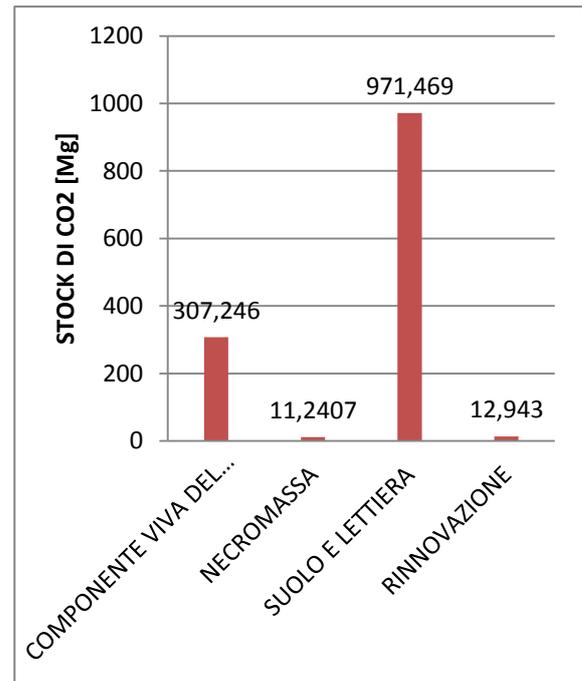
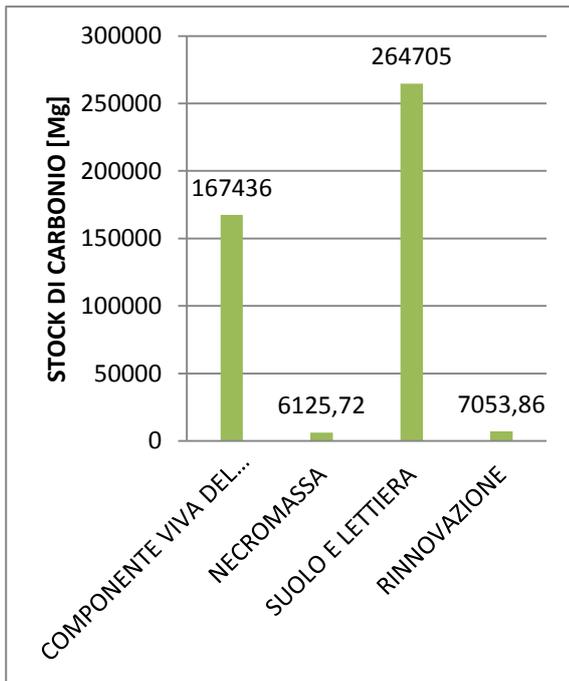
Necromassa totale	6125,727795 Mg
-------------------	-----------------------

Suolo e lettiera (S e L)

Carbonio organico nella lettiera [Mg]	Carbonio organico negli orizzonti organici del suolo [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale superficiale [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale profondo [Mg]	Carbonio organico totale di suolo e lettiera [Mg]
4640,702875	5197,58722	122514,5559	132352,846	264705,692

Carbon stock	445321,8479 Mg
---------------------	-----------------------

CO₂ stock	1302,9005 Mg
-----------------------------	---------------------



Per questa categoria forestale, i risultati sul carbon stock e sul CO₂ stock indicano un trend simile a quello di altre tipologie arboree. Il suolo e la lettiera sono i contributi maggiori e il valore è più basso nel caso della necromassa.

3.1.8 Arbusteti e cespuglieti

Come già accennato nel capitolo 2, di questa categoria fanno parte i pini marittimi (*Pinus Pinaster*) presenti nell'INFC 2005. È un tipo di conifere infatti le foglie sono a forma di aghetto e sono caratteristici delle zone costiere. È un tipo di albero che arriva fino a 25 – 30 m di altezza circa. (SardegnaForeste). Nelle Marche la zona con maggiore superficie ricoperta da pino marittimo è Cassarai in provincia di Ascoli Piceno, non molto distante dalla costa.



Figura 25 Pino marittimo

Superficie forestale arbusteti e cespuglieti	5526,0391 ha
---	---------------------

Componente viva del soprassuolo - Biomassa epigea (BE)

Fitomassa del fusto e dei rami grossi [Mg]	Fitomassa della ramaglia [Mg]	Fitomassa della ceppaia [Mg]	Fitomassa arborea epigea (Biomassa epigea) [Mg]
435451,8811	148650,4518	8841,66256	592943,9954

Rinnovazione - Biomassa ipogea (BI)

Peso secco dei soggetti con altezza tra 50 cm e 130 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e d < 2,5 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e 2,5 cm < d < 4,5 cm [Mg]	Peso totale dei soggetti in rinnovazione (Biomassa ipogea) [Mg]
0	2210,41564	16025,51339	18788,53294

Necromassa (N)

Peso secco alberi morti in piedi [Mg]	Peso secco necromassa a terra [Mg]	Peso secco delle ceppaie residue [Mg]	Peso secco della necromassa totale [Mg]	Peso secco della necromassa fine [Mg]
48629,14408	4973,43519	0	53049,97536	1657,81173

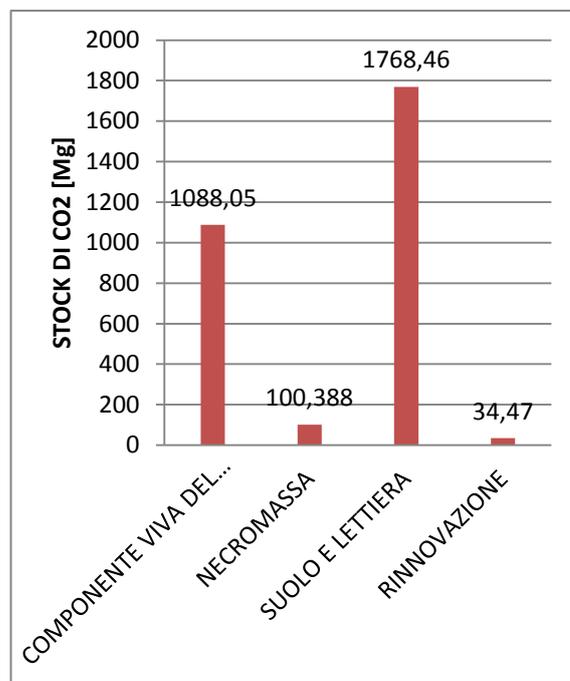
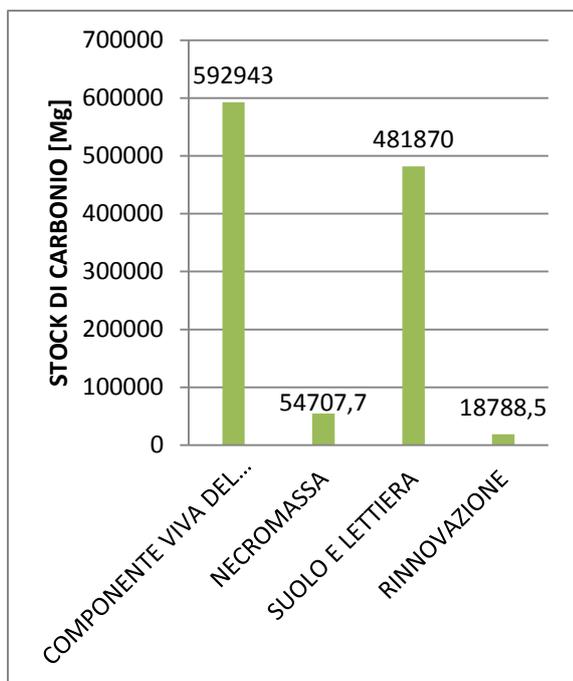
Necromassa totale **54707,78709 Mg**

Suolo e lettiera (S e L)

Carbonio organico nella lettiera [Mg]	Carbonio organico negli orizzonti organici del suolo [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale superficiale [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale profondo [Mg]	Carbonio organico totale di suolo e lettiera [Mg]
16025,51339	39234,87761	221594,1679	204513,1119	481870,6095

Carbon stock **1148310,925 Mg**

CO₂ stock **2991,393116 Mg**



Nel caso degli arbusteti e dei cespuglieti, per quanto riguarda lo stock di carbonio la componente predominante è quella della biomassa epigea mentre la situazione cambia per lo stock di anidride carbonica. Questo è stato già spiegato ed è dovuto al fatto che la formula INEMAR per il CO₂ stock, riduce la biomassa epigea, ipogea e la necromassa del 50%. In questo caso inoltre si nota un risultato non comune alla maggior parte delle altre specie arboree: la necromassa gioca un ruolo più importante rispetto alla rinnovazione.

3.1.9 Querceti di roverella e di rovere

Le querce sono alberi particolarmente longevi. In particolare la roverella può arrivare anche a 500 anni. Il suo habitat è principalmente non lontano dal mare (giardinaggio.net). Nelle Marche è diffuso principalmente nelle zone di Ascoli Piceno (Comune di Acquasanta Terme) e di Macerata (Visso).



Figura 26 Foglie di roverella

Superficie forestale querceti di roverella e di rovere	70950,4164 ha
---	----------------------

Componente viva del soprassuolo - Biomassa epigea (BE)

Fitomassa del fusto e dei rami grossi [Mg]	Fitomassa della ramaglia [Mg]	Fitomassa della ceppaia [Mg]	Fitomassa arborea epigea (Biomassa epigea) [Mg]
2589690,199	1106826,496	70950,4164	3767467,111

Rinnovazione - Biomassa ipogea (BI)

Peso secco dei soggetti con altezza tra 50 cm e 130 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e d < 2,5 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e 2,5 cm < d < 4,5 cm [Mg]	Peso totale dei soggetti in rinnovazione (Biomassa ipogea) [Mg]
21285,12492	141900,8328	376037,2069	546318,2063

Necromassa (N)

Peso secco alberi morti in piedi [Mg]	Peso secco necromassa a terra [Mg]	Peso secco delle ceppaie residue [Mg]	Peso secco della necromassa totale [Mg]	Peso secco della necromassa fine [Mg]
42570,24984	14190,08328	0	56760,33312	28380,16656

Necromassa totale

85140,49968 Mg

Suolo e lettiera (S e L)

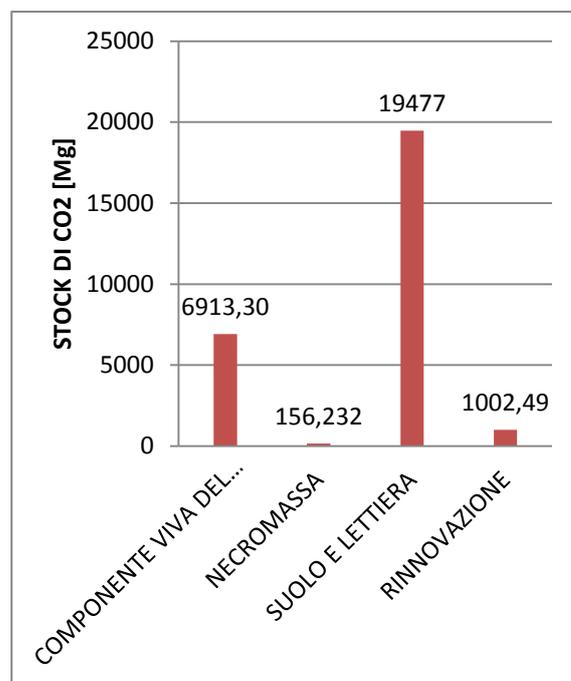
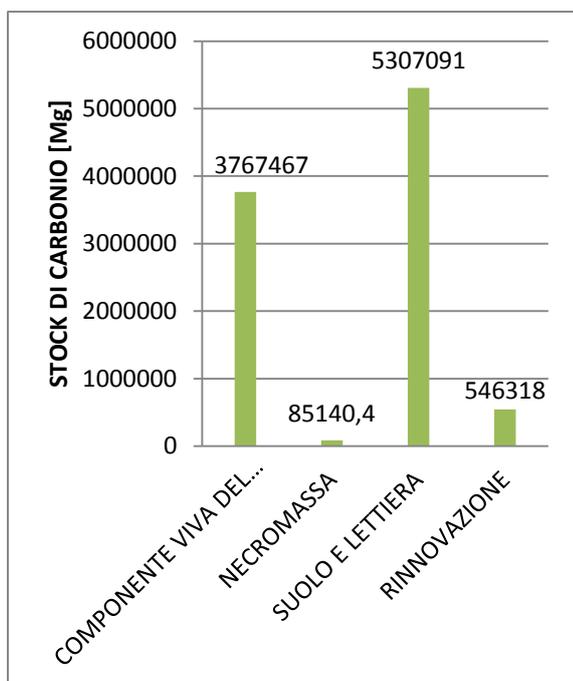
Carbonio organico nella lettiera [Mg]	Carbonio organico negli orizzonti organici del suolo [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale superficiale [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale profondo [Mg]	Carbonio organico totale di suolo e lettiera [Mg]
127710,7495	127710,7495	2923157,156	2128512,492	5307091,147

Carbon stock

9706016,964 Mg

CO₂ stock

27549,05338 Mg



Dai risultati ottenuti si evince che questo tipo di querce seguono mediamente i risultati delle altre tipologie forestali.

3.1.10 Faggete

Le faggete sono foreste di faggi, alberi particolarmente adatti alle zone temperate e montane ma non alle zone con climi estremamente caldi (Lasen, 2017). Nelle Marche sono presenti principalmente nella Provincia di Ascoli Piceno e precisamente ad Acquasanta Terme.



Figura 27 Faggio

Superficie forestale faggete	18575,6277 ha
-------------------------------------	----------------------

Componente viva del soprassuolo - Biomassa epigea (BE)

Fitomassa del fusto e dei rami grossi [Mg]	Fitomassa della ramaglia [Mg]	Fitomassa della ceppaia [Mg]	Fitomassa arborea epigea (Biomassa epigea) [Mg]
1733106,064	445815,064	55726,8831	2234648,012

Rinnovazione - Biomassa ipogea (BI)

Peso secco dei soggetti con altezza tra 50 cm e 130 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e d < 2,5 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e 2,5 cm < d < 4,5 cm [Mg]	Peso totale dei soggetti in rinnovazione (Biomassa ipogea) [Mg]
1857,56277	20433,19047	89163,01296	109596,2034

Necromassa (N)

Peso secco alberi morti in piedi [Mg]	Peso secco necromassa a terra [Mg]	Peso secco delle ceppaie residue [Mg]	Peso secco della necromassa totale [Mg]	Peso secco della necromassa fine [Mg]
14860,50216	7430,25108	5572,68831	26005,878	48296,632

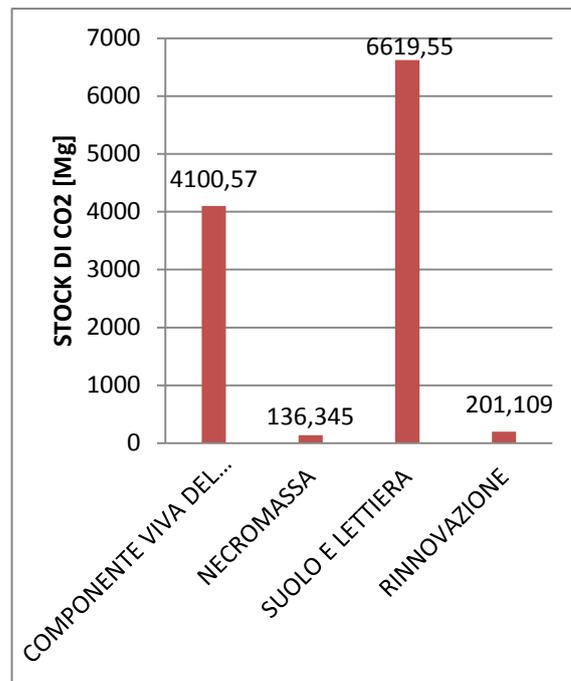
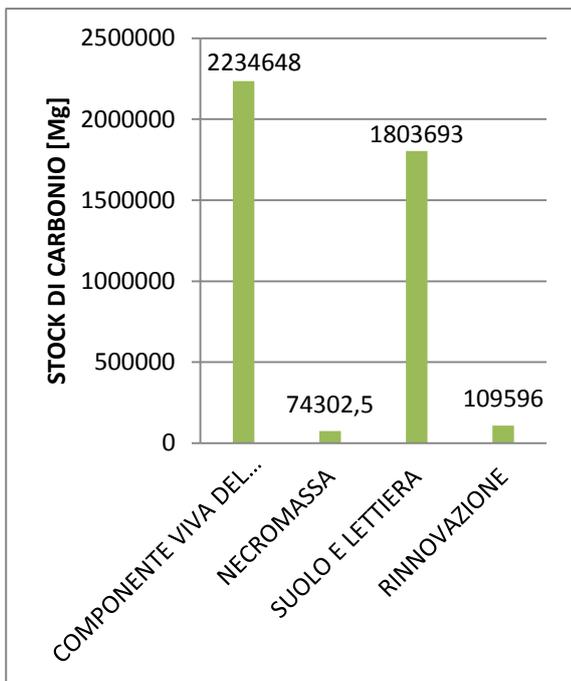
Necromassa totale	74302,5108 Mg
-------------------	----------------------

Suolo e lettiera (S e L)

Carbonio organico nella lettiera [Mg]	Carbonio organico negli orizzonti organici del suolo [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale superficiale [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale profondo [Mg]	Carbonio organico totale di suolo e lettiera [Mg]
89163,01296	113311,329	791321,74	809897,3677	1803693,45

Carbon stock	4222240,176 Mg
---------------------	-----------------------

CO₂ stock	11057,5882 Mg
-----------------------------	----------------------



Si nota che anche nel caso delle faggete c'è una certa differenza tra il contributo di suolo e lettiera nel carbon stock e nel CO₂ stock. Lo stesso vale per la biomassa epigea.

3.1.11 Leccete

Il leccio è una specie arborea presente per lo più in zone collinari e montane ed è un tipo di albero piuttosto longevo ed arriva fino a 30 m (SardegnaForeste). Nelle Marche è presente per lo più nelle zone di Cessapalombo, Camerino, Cagli e Ancona.



Figura 28 Leccio

Superficie forestale leccete	5008,9508 ha
-------------------------------------	---------------------

Componente viva del soprassuolo - Biomassa epigea (BE)

Fitomassa del fusto e dei rami grossi [Mg]	Fitomassa della ramaglia [Mg]	Fitomassa della ceppaia [Mg]	Fitomassa arborea epigea (Biomassa epigea) [Mg]
322075,5364	138747,937160	5008,95	465331,5293

Rinnovazione - Biomassa ipogea (BI)

Peso secco dei soggetti con altezza tra 50 cm e 130 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e d < 2,5 cm [Mg]	Peso secco dei soggetti con altezza > 130 cm e 2,5 cm < d < 4,5 cm [Mg]	Peso totale dei soggetti in rinnovazione (Biomassa ipogea) [Mg]
1001,79	9517	39069,8162	50089,508

Necromassa (N)

Peso secco alberi morti in piedi [Mg]	Peso secco necromassa a terra [Mg]	Peso secco delle ceppaie residue [Mg]	Peso secco della necromassa totale [Mg]	Peso secco della necromassa fine [Mg]
2003,58	0	0	2504,4754	1001,79016

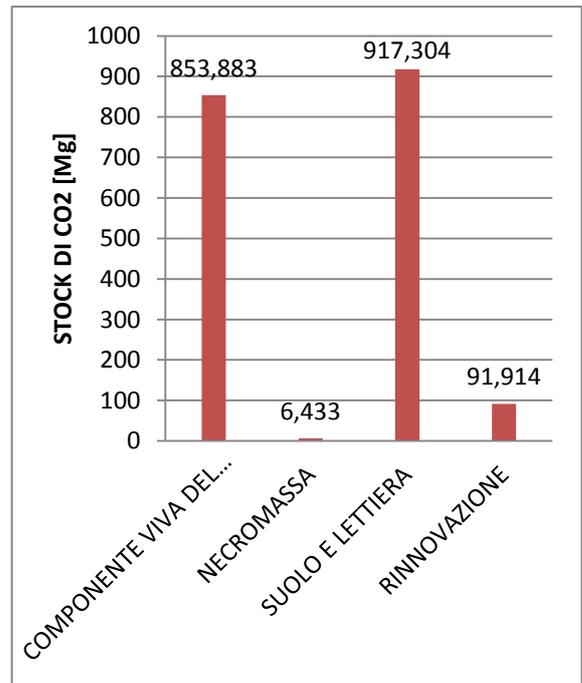
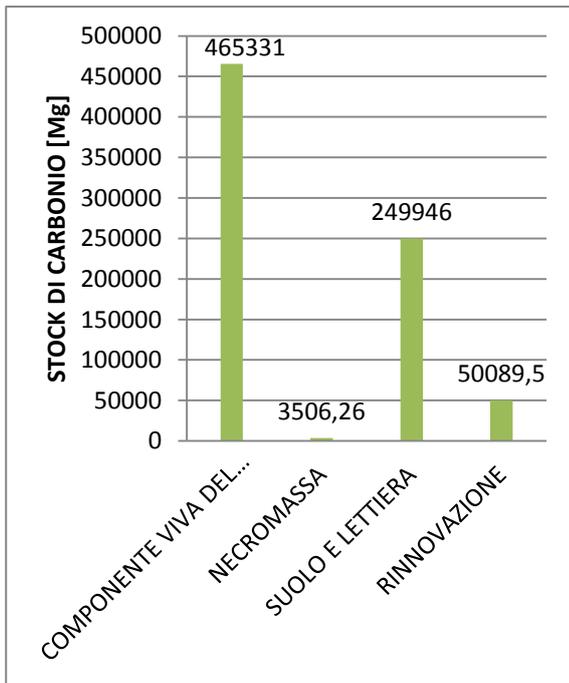
Necromassa totale **3506,26556**

Suolo e lettiera (S e L)

Carbonio organico nella lettiera [Mg]	Carbonio organico negli orizzonti organici del suolo [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale superficiale [Mg]	Carbonio organico del suolo minerale profondo [Mg]	Carbonio organico totale di suolo e lettiera [Mg]
22039,383	57102,039	112701,393	58103,8292	249946,6449

Carbon stock **768873,9478 Mg**

CO₂ stock **1869,536 Mg**



Nel caso delle leccete il contributo del gruppo biomassa epigea – suolo e lettiera è nettamente superiore a quello del gruppo necromassa – biomassa ipogea.

CAPITOLO 4

A seguito dei calcoli effettuati, sono state ricavate alcune informazioni riguardanti la capacità di stoccaggio di ciascuna tipologia forestale. Il carbon stock totale nella regione Marche, ricavato con algoritmo del programma informatico INEMAR, è 39061194,94 Mg, mentre il CO₂ stock vale 106277,8 Mg.

4.1 Carbon stock e CO₂ stock totali

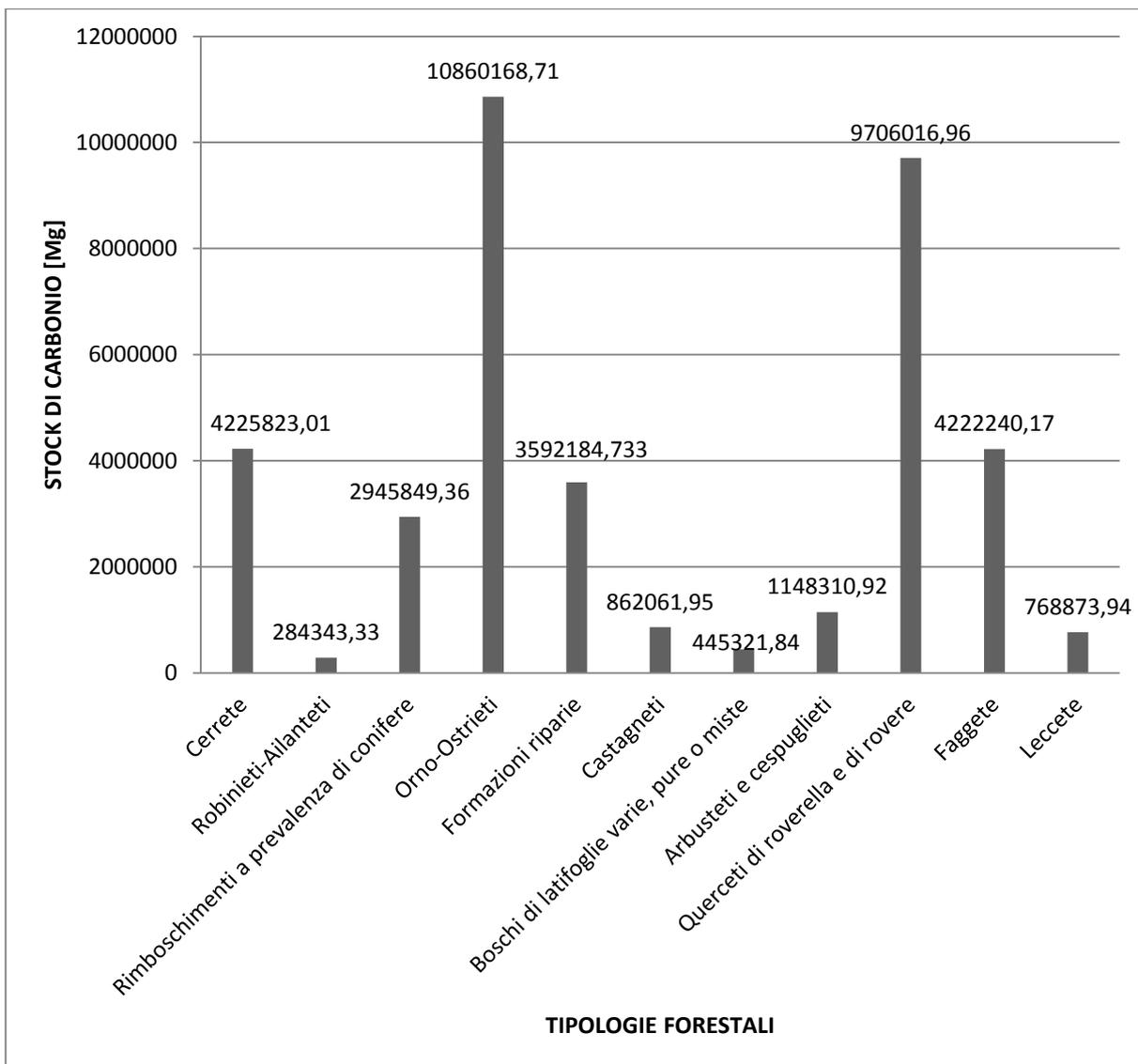


Figura 29 Carbon stock

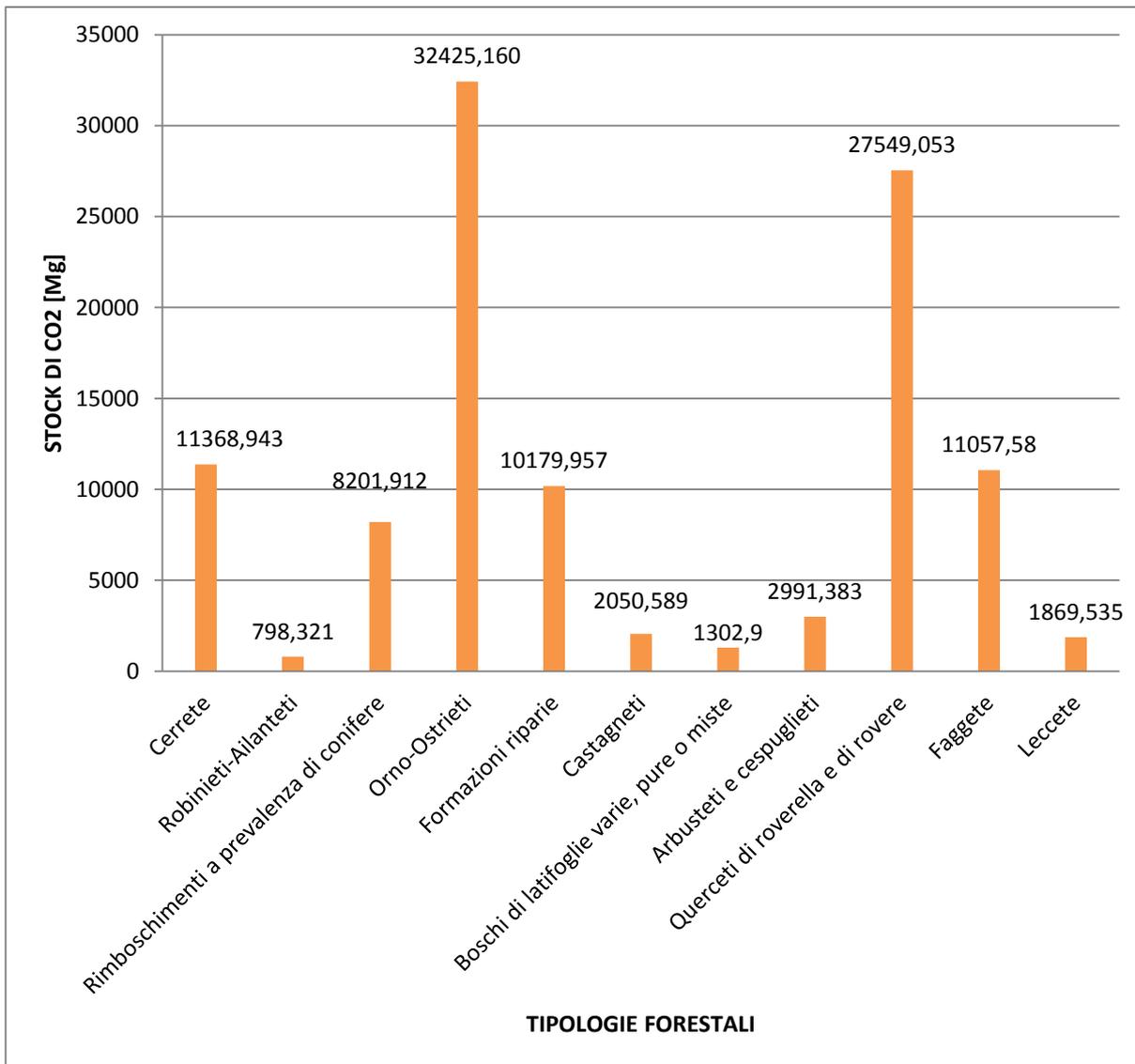


Figura 30 CO₂ stock

Dai calcoli del capitolo 3, si evince che la categoria forestale con più alto valore di carbon stock e CO₂ stock è quella degli Orno – Ostrieti. Al contrario, i robinieti e gli ailanteti sono quelli che danno il minor contributo. Quest’ultimo risultato non è del tutto negativo in quanto l’ailanto è una specie arborea particolarmente invasiva, tanto da doverne tenere sotto controllo l’espansione. Quindi, anche alla luce dei risultati ottenuti, è bene limitarne l’utilizzo.

Tuttavia, questi risultati tengono conto della superficie ricoperta da ciascuna categoria forestale nelle Marche e, per questo motivo, non danno un’indicazione ben precisa del potenziale di assorbimento di ciascun tipo di albero. Infatti, se si analizza lo stock di CO₂ per ettaro, i risultati cambiano e la categoria più “efficiente” risulta essere quella delle faggete:

$$\frac{\text{CO}_2 \text{ stock faggete (Mg)}}{\text{Superficie faggete (ha)}} = \frac{11057,5882}{18575,6277} \sim 0,6 \text{ MgCO}_2/\text{ha}$$

Lo stesso discorso può essere fatto con le altre tipologie forestali:

- Cerrete: 0,4686 MgCO₂/ha
- Robinieti – Ailanteti: 0,4339 MgCO₂/ha
- Conifere: 0,4557 MgCO₂/ha
- Orno – Ostrieti: 0,5556 MgCO₂/ha
- Formazioni riparie: 0,546 MgCO₂/ha
- Castagneti: 0,4752 MgCO₂/ha
- Boschi di latifoglie varie, pure o miste: 0,35 MgCO₂/ha
- Arbusteti e cespuglieti: 0,54 MgCO₂/ha
- Querceti di rovere e roverella: 0,38 MgCO₂/ha
- Lecce: 0,37 MgCO₂/ha

Come si può notare, i risultati dimostrano che lo stoccaggio di CO₂ non è solo una caratteristica quantitativa ma anche e soprattutto qualitativa. Quindi non dipende solo dalla diffusione della specie ma anche dalle proprietà biologiche, fisiche e chimiche del singolo albero.

4.2 Analisi a livello provinciale

Usando una metodologia simile alla “bottom up” (già citata nel capitolo 2), si è partiti da dati locali per arrivare ad una valutazione a livello provinciale dello stock di anidride carbonica. Questo risulta essere direttamente proporzionale all’estensione superficiale forestale.

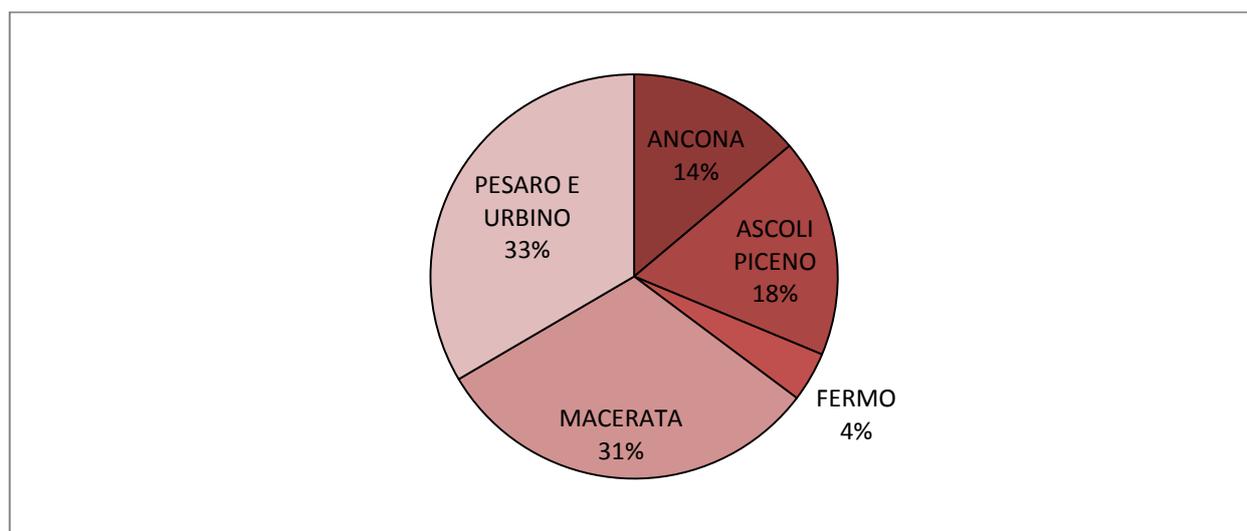


Figura 31 CO₂ stock per provincia

Calcolando lo stock medio di CO₂ a livello provinciale, si sono ottenuti i seguenti risultati:

Provincia	CO ₂ stock [Mg]	Estensione provincia [ha]*	Mg CO ₂ stock/ ha
Ancona	15324,38	196322	0,078
Ascoli Piceno	19406,74	122827	0,15
Fermo	4401,76	86277	0,051
Macerata	34677,04	277934	0,12
Pesaro e Urbino	37149,88	256778	0,14

Figura 32

* Dati ricavati da ISTAT (ISTAT- Istituto Nazionale di Statistica)

Si può subito notare come la provincia di Fermo sia quella con il valore più basso, seguita dalla provincia di Ancona. Tuttavia, essendo quest'ultima la città delle Marche con maggiore densità abitativa ed essendo presente il porto in cui transitano quotidianamente navi, questo valore potrebbe indicare una non sufficiente estensione di area forestale. Infatti, i fattori appena indicati favoriscono una maggiore emissione di CO₂ in atmosfera e, se non ci sono abbastanza foreste, questo valore potrebbe non essere bilanciato correttamente e quindi ne risente la qualità dell'aria.

Tuttavia la stima appena fatta è generale e non è ponderata alle singole zone. Questo sta ad indicare che non può essere considerata una misura di riferimento ma solo uno spunto di riflessione. Inoltre, considerando la realtà locale, se ci sono pochi alberi e le emissioni sono elevate, ne risente la loro capacità di assorbimento. Infatti, come già accennato nel capitolo 1, una specie vegetativa, in presenza di un eccessivo quantitativo di anidride carbonica, riduce drasticamente la sua capacità di assimilazione tramite fotosintesi clorofilliana.

4.3 Confronto con il Piemonte

A seguito di una ricerca, è stato possibile ricavare il CO₂ stock dai dati calcolati da IPLA (par. 2.4) sull'estensione forestale e sul carbon stock del Piemonte. Si è scelto di fare un confronto tra queste due Regioni in quanto si trovano in fasce climatiche diverse che ne influenzano lo sviluppo delle specie vegetative.

Il metodo di calcolo è lo stesso: conoscendo i dati elaborati da IPLA, è stata applicata la formula (8) per ricavare il CO₂ stock. I risultati ottenuti dal confronto sono i seguenti:

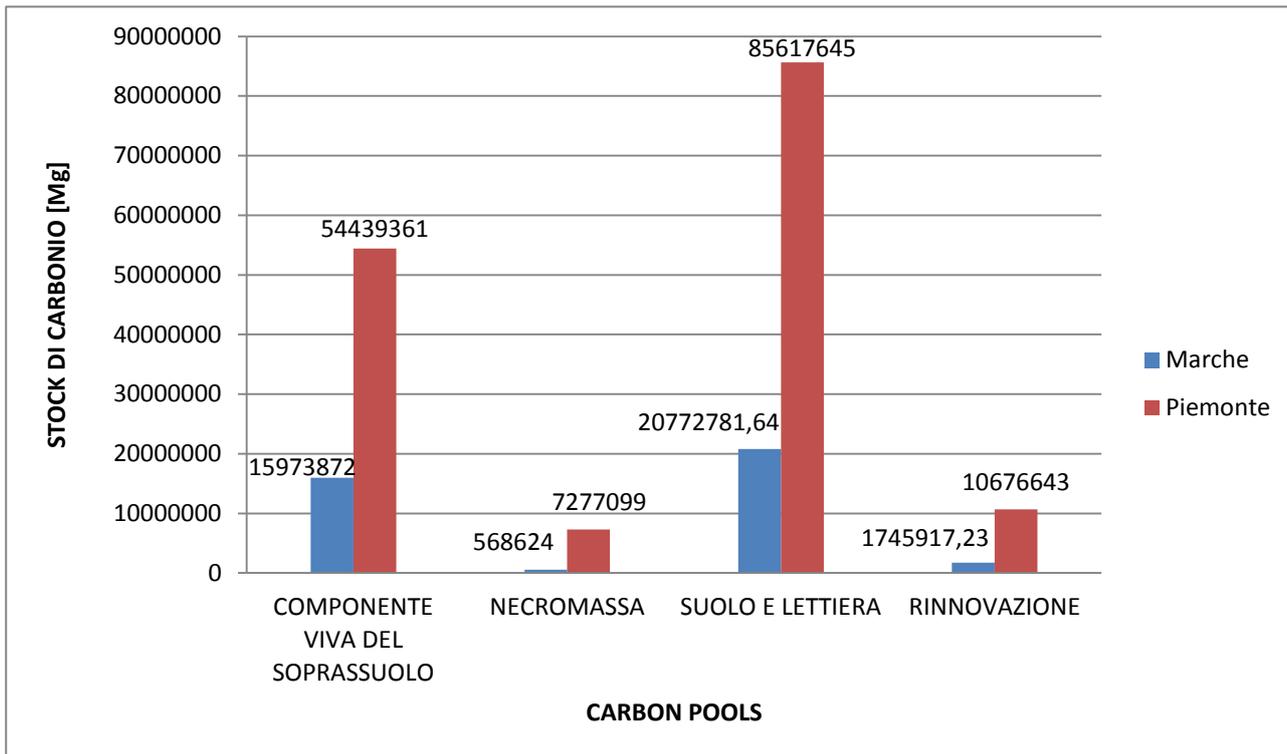


Figura 33 Confronto carbon stock di Piemonte e Marche

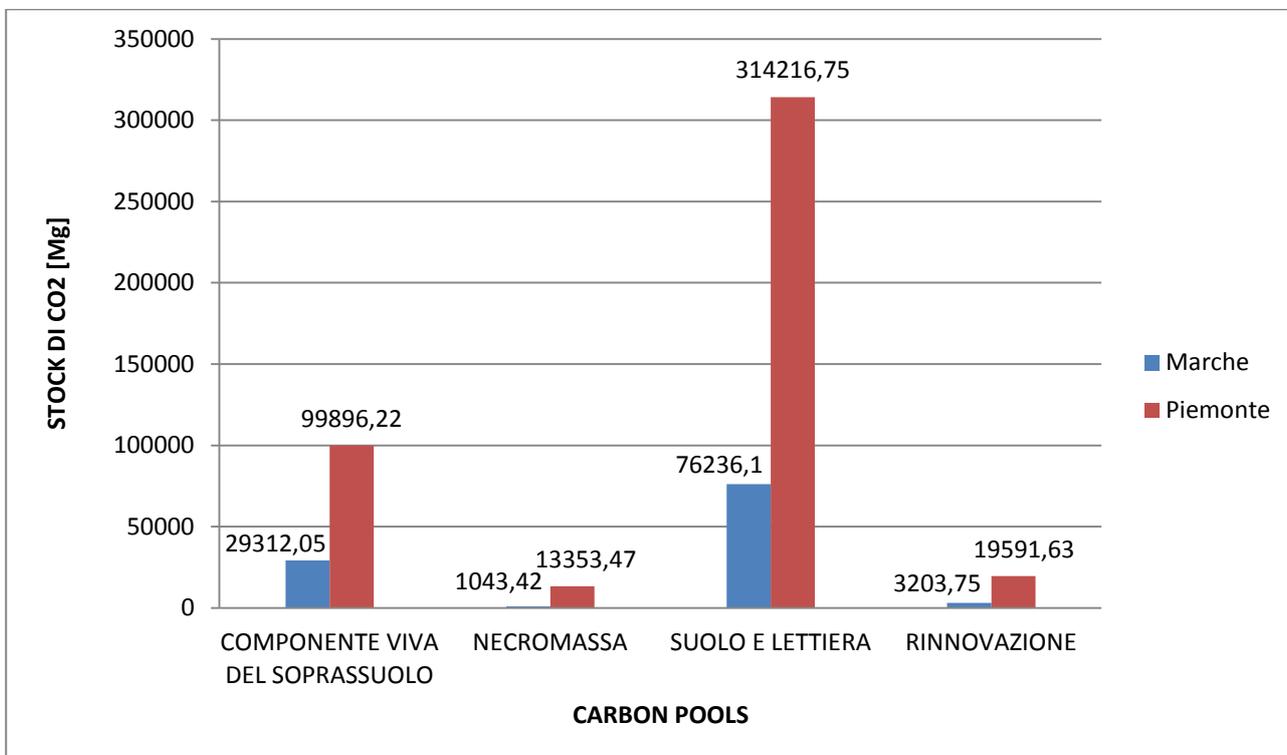


Figura 34 Confronto tra CO2 stock di Piemonte e Marche

Si può notare subito come i valori relativi al Piemonte siano superiori, nello specifico:

$$\frac{\text{Carbon stock Piemonte}}{\text{Carbon stock Marche}} = \frac{158010749 \text{ Mg}}{39061195 \text{ Mg}} = 4,045 \text{ volte superiori.}$$

Lo stesso risultato è stato ottenuto facendo il rapporto tra il CO₂ stock del Piemonte e delle Marche ed il risultato è di circa 4,2.

Questi risultati sono dovuti a diversi fattori; il motivo principale è la differenza dell'estensione della superficie forestale. Per confermare questa ipotesi si calcola il rapporto tra la superficie forestale del Piemonte e quella delle Marche:

$$\frac{\text{Superficie forestale Piemonte}}{\text{Superficie forestale Marche}} = \frac{993355 \text{ ha}}{229198,2786 \text{ ha}} = 4,334.$$

Questo risultato conferma in parte quanto già ipotizzato.

Tuttavia c'è una differenza, sebbene minima, tra il rapporto sul carbon stock e sulla superficie forestale ($4,334 - 4,045 = 0,289$), stando ad indicare che la differenza tra Piemonte e Marche non è da ricondursi univocamente alla diversa estensione superficiale. Essa infatti potrebbe essere dovuta alla diversa morfologia del territorio. Infatti il territorio marchigiano è prettamente montuoso e collinare mentre quello del Piemonte comprende anche una vasta porzione di pianura.

La morfologia del territorio influenza il clima e lo sviluppo di tipologie forestali diverse. Infatti, anche se in generale le specie vegetative sono per la maggior parte le stesse, alcune presenti nel Piemonte non sono rilevate nelle Marche. Tra queste ci sono: lariceti e cembrete (9 % della superficie forestale), abetine e peccete (2,7 %) ed acero – tiglio - frassineti (4,7 %). L'ipotesi esposta potrebbe quindi trovare conferma studiando il carbon stock di queste specie appena citate (Camerano, Paolo; Gottero, Franco; Terzuolo, Pier Giorgio; Varese, Paolo; IPLA S.p.A., 2008) . Infatti, i calcoli effettuati, indicano una capacità di assorbimento minore nel Piemonte e questo potrebbe essere dovuto ad una minore "efficienza" di queste specie arboree.

CONCLUSIONI

Come si è potuto vedere dallo studio condotto, gli alberi sono la componente più importante per combattere il fenomeno dell'inquinamento. Si è visto come alcune tipologie forestali sono più efficienti da questo punto di vista e, per questo motivo, dovrebbero forse essere utilizzate maggiormente.

Il presente studio è finalizzato ad un'analisi sulle capacità di assorbimento della CO₂ al fine di fornire al lettore uno spunto per pensare un po' più "green". Infatti i risultati ottenuti possono dare informazioni per riprogettare gli spazi urbani. Queste sono le aree che risentono maggiormente degli effetti dell'inquinamento poiché è presente meno verde e le foreste che si trovano nelle aree circostanti, tendono a svolgere il ruolo di "polmone" non riuscendo talvolta a bilanciare le emissioni (ad esempio la provincia di Ancona).

Sarebbe importante perciò apportare modifiche alle nostre città, progettare ampie zone alberate nel contesto urbano o addirittura sviluppare edifici immersi nel verde come ad esempio il "bosco verticale" di Milano.

Queste ipotesi innovative potrebbero dare un aspetto del tutto diverso alla realtà in cui viviamo e sicuramente migliore.

BIBLIOGRAFIA

- Agriligurianet. (s.d.). *I tipi forestali della Liguria - Arbusteti e macchie mediterranee*. Tratto da www.agriligurianet.it: <http://www.agriligurianet.it/it/vetrina/boschi-e-foreste/tipi-forestali.html?jjj=1593885340762>
- Agriligurianet. (s.d.). *I tipi forestali della Liguria - Orno Ostrieti*. Tratto da www.agriligurianet.it: <http://www.agriligurianet.it/it/vetrina/boschi-e-foreste/tipi-forestali.html>
- AIRC - Agenzia Zoe. (2018). *AIRC - L'inquinamento atmosferico può aumentare il rischio di ammalarsi di cancro al polmone e di altri tipi di tumore?* Tratto da [airc.it](http://www.airc.it): <https://www.airc.it/cancro/informazioni-tumori/corretta-informazione/inquinamento-atmosferico#:~:text=L'Agenzia%20internazionale%20per%20la,carcinogeni%20umani%20di%20ti-po%201.>
- APAT, Polidori, P., Battistella, G., Calicchia, S., Cinti, T., & Palma, R. (2006). *I quaderni della formazione ambientale - Aria*.
- ARPA Lombardia - INEMAR. (s.d.). *INEMAR - Presentazione generale*. Tratto da [inemar.eu](http://www.inemar.eu): <http://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/InemarWiki/Presentazione>
- ARPA Lombardia - INEMAR. (s.d.). *Inventario Emissioni Aria - Regione Lombardia - Metodologia*. Tratto da [inemar.eu](http://www.inemar.eu): <http://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/InemarDatiWeb/Metodologia+utilizzata>
- ARPA Lombardia. (2017). *Manuale Modulo Foreste*.
- ARPA Piemonte - Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. (s.d.). *Vegetazione riparia*. Tratto da [arpa.piemonte.it](http://www.arpa.piemonte.it): <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/glossario/vegetazione-riparia>
- ARPA Umbria. (s.d.). *ARPA Umbria Monitoraggi aria*. Tratto da [arpa.umbria.it](http://www.arpa.umbria.it): <https://www.arpa.umbria.it/monitoraggi/aria/contenuto.aspx?idpagina=18>
- ARPA Valle D'Aosta. (2017, Agosto 17). *arpa.vda.it*. Tratto da Arpa Valle D'Aosta - I gas ad effetto serra: <https://www.arpa.vda.it/en/aria-en/1-inquinamento-atmosferico/2539-i-gas-ad-effetto-serra>
- Biosost. (2019, Maggio 8). *Biosost - Habitat nel mondo: le sugherete*. Tratto da [biosost.com](http://www.biosost.com): http://www.biosost.com/hub/animali-e-habitat-a-rischio/648-08_05_19.html
- Camerano, Paolo; Gottero, Franco; Terzuolo, Pier Giorgio; Varese, Paolo; IPLA S.p.A. (2008). *Tipi forestali del Piemonte - Regione Piemonte*. Torino: Blu Edizioni.
- Caputo, Antonio; ISPRA. (2015). *Emissioni nazionali di gas serra - Fattori determinanti e confronto con i Paesi Europei*.

Commissione Europea. (s.d.). *Accordo di Parigi*. Tratto da ec.europa.eu: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_it

Corpo Forestale dello Stato. Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale (CRA-MPF). *INFC 2005 – Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio*. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Ispettorato Generale .

CREA - Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria. (s.d.). *Unità di Ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale (MPF)*. Tratto da sito.entecra.it: http://sito.entecra.it/portale/cra_dati_istituto.php?id=217

Ecoage - *Effetto serra*. (s.d.). Tratto da ecoage.it: <https://www.ecoage.it/effetto-serra.htm>

Ecol Studio Press. (s.d.). *Emissioni di CO2: quanto assorbe un albero?* Tratto da blog.ecolstudio.com: <https://blog.ecolstudio.com/emissioni-co2-assorbimento-alberi/>

Elidoro, C. (2019, Maggio 14). *scienza in rete*. Tratto da scienzainrete.it: <https://www.scienzainrete.it/articolo/se-si-scioglie-permafrost/claudio-elidoro/2019-05-14>

ENAC. (s.d.). *Il Protocollo di Kyoto*. Tratto da enac.gov.it: <https://www.enac.gov.it/ambiente/impatto-ambientale/le-emissioni-gassose/il-protocollo-di-kyoto>

Fondazione Umberto Veronesi. (2016). *Fondazione Veronesi - Un ictus su tre nel mondo legato all'inquinamento*. Tratto da [fondazioneveronesi.it](https://www.fondazioneveronesi.it/magazine/articoli/neuroscienze/un-ictus-su-tre-nel-mondo-legato-allinquinamento): <https://www.fondazioneveronesi.it/magazine/articoli/neuroscienze/un-ictus-su-tre-nel-mondo-legato-allinquinamento>

Garzanti. (s.d.). *Garzanti Linguistica - Inquinamento*. Tratto da [garzantilinguistica.it](https://www.garzantilinguistica.it/ricerca/?q=inquinamento): <https://www.garzantilinguistica.it/ricerca/?q=inquinamento>

giardinaggio.net. (s.d.). *Giardinaggio.net - Roverella Quercus*. Tratto da <https://www.giardinaggio.net/giardino/alberi/roverella.asp>

Gottero, Franco; Terzuolo, Pier Giorgio; Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente IPLA S.p.A. Torino - Regione Piemonte. (2011). *Scenario Piemonte: Foreste, stock di carbonio e gestione sostenibile*.

INEMAR - ARPA Lombardia. (s.d.). *INEMAR - Metodologia*. Tratto da inemar.eu: <http://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/InemarDatiWeb/Classificazione+delle+attivita%3%A0+%28SNAP+97%29>

Intini, E. (2020, Febbraio 6). *Focus Smog e salute: gli effetti dell'inquinamento atmosferico sul corpo umano*. Tratto da focus.it: <https://www.focus.it/scienza/salute/smog-e-salute-gli-effetti-dell-inquinamento-atmosferico-sul-corpo-umano>

ISPRA - Gaudioso, D., & Sarti, C. *VII Rapporto sulla Qualità dell'ambiente urbano Focus sulla qualità dell'aria* .

ISTAT- Istituto Nazionale di Statistica. *Principali statistiche geografiche sui comuni - Superfici delle unità amministrative*.

Lasen, C. (2017). *Descrizione degli habitat dell'Alto Adige*. Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige, Ripartizione Natura, paesaggio e sviluppo del territorio, 2017.

Liceo Berchet. (s.d.). *Inquinamento del suolo*. Tratto da liceoberchet.edu.it: https://liceoberchet.edu.it/ricerche/geo4d_09/gruppo_a/inquinamento_suolo.htm

Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Ispettorato Generale - Corpo Forestale dello Stato. Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale (CRA-MPF). (s.d.). *INFC 2005 – Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio*. Tratto da sian.it: https://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/obiettivi_intro.jsp?menu=3

Petrella, Fabio; Piazzì, Mauro; IPLA. (s.d.). *Il carbonio organico negli ecosistemi agrari e forestali del Piemonte: misure ed elaborazioni*. Tratto da AIP, Associazione Italiana Pedologi: http://www.aip-suoli.it/editoria/bollettino/n1-3a05/n1-3a05_09.htm

Piante.it. (s.d.). *Piante.it - Castagno*. Tratto da piante.it: <https://www.piante.it/castagno/>

Piante.it. (s.d.). *Piante.it - Cerro*. Tratto da <https://www.piante.it/cerro/#:~:text=Home%20%C2%BB%20Alberi%20%C2%BB%20Cerro,Cerro,appartenente%20alla%20famiglia%20delle%20Fagaceae.&text=Come%20tratto%20distintivo%20rispetto%20alle,legnoso%20formato%20da%20squamette%20arricciate>.

PROGETTO RECUPERI SRL. (2017, Maggio 26). *CO2 e acidificazione degli oceani*. Tratto da progettorecuperi.it: <https://www.progettorecuperi.it/co2-e-acidificazione-degli-oceani/>

Regione Emilia Romagna - Servizio Tutela e Risanamento Acqua, Aria e Agenti fisici. (2019, Giugno 26). *Ambiente Regione Emilia Romagna*. Tratto da ambiente.regione.emilia-romagna.it: <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/aria/temi/emissioni>

Regione Lombardia - Lombardia Osservatorio Regionale della Biodiversità. (s.d.). *Ailanthus Altissima (Mill.) Swingle*. Tratto da biodiversita.lombardia.it: http://www.biodiversita.lombardia.it/sito/index.php?option=com_content&view=article&id=254:c03-ailanthus&catid=89&Itemid=464

Regione Lombardia - Lombardia Osservatorio Regionale della Biodiversità. (s.d.). *Robinia L.* Tratto da biodiversita.lombardia.it: http://www.biodiversita.lombardia.it/sito/index.php?option=com_content&view=article&id=259:c03-robinia&catid=89&Itemid=464

Rinnovabili.it. (2019, Giugno 18). *Rinnovabili.it Canada: il permafrost artico si sta sciogliendo con 70 anni di anticipo*. Tratto da rinnovabili.it: <https://www.rinnovabili.it/ambiente/permafrost-artico-scioglimento/>

SardegnaForeste. (s.d.). *SardegnaForeste - Leccio*. Tratto da <https://www.sardegnaforeste.it/flora/leccio>

SardegnaForeste. (s.d.). *SardegnaForeste - Pino marittimo*. Tratto da <https://www.sardegnaforeste.it/flora/pino-marittimo>

Sartini, M. (2017). *green.it - acidificazione degli oceani: un'allarmante conseguenza del riscaldamento globale*. Tratto da [green.it: https://www.green.it/acidificazione-degli-oceani-unallarmante-conseguenza-del-riscaldamento-globale/](https://www.green.it/acidificazione-degli-oceani-unallarmante-conseguenza-del-riscaldamento-globale/)

Sito del Dipartimento della Protezione Civile - Presidenza del Consiglio dei Ministri. (s.d.). *Inquinamento del suolo*. Tratto da [protezionecivile.gov.it: http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-ambientale/descrizione/inquinamento-suolo](http://www.protezionecivile.gov.it)

Sito del Dipartimento della Protezione Civile - Presidenza del Consiglio dei Ministri. (s.d.). *Protezione Civile- Inquinamento delle acque*. Tratto da [protezionecivile.gov.it: www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-ambientale/descrizione/inquinamento-acque](http://www.protezionecivile.gov.it)

The Royal Society; Prof John Raven FRS; Dr Ken Caldeira; Prof Harry Elderfield FRS; Prof Ove Hoegh-Guldberg; Prof Peter Liss; Prof Ulf Riebesell; Prof John Shepherd FRS; Dr Carol Turley; Prof Andrew Watson FRS. (2005). *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*. Cardiff, UK: The Clyvedon Press Ltd.

Vergari, F. (2018). *green.it - Inquinamento dei voli aerei, quali verità?* Tratto da [green.it: https://www.green.it/inquinamento-dei-voli-aerei-quali-verita/#](https://www.green.it/inquinamento-dei-voli-aerei-quali-verita/#)