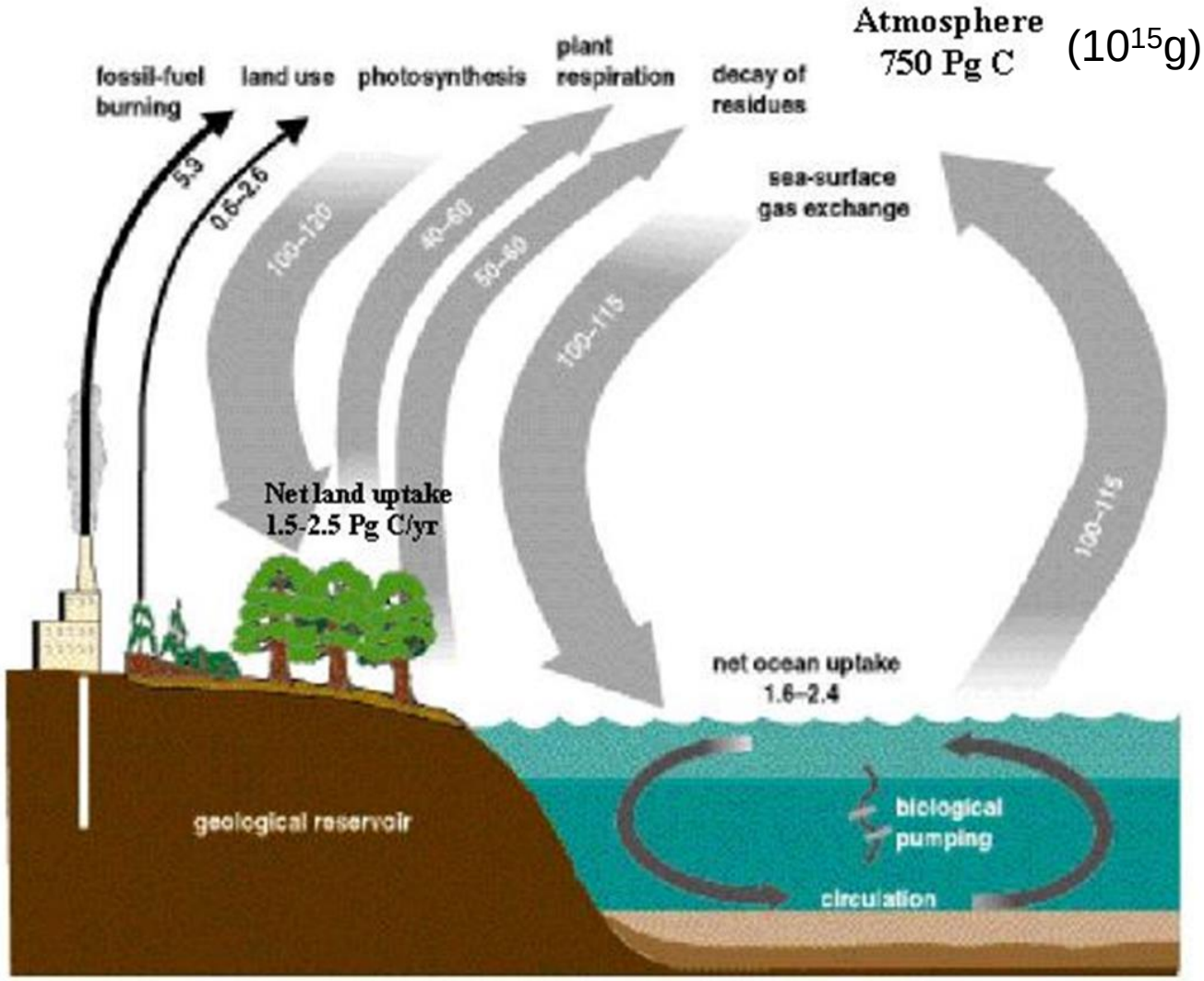
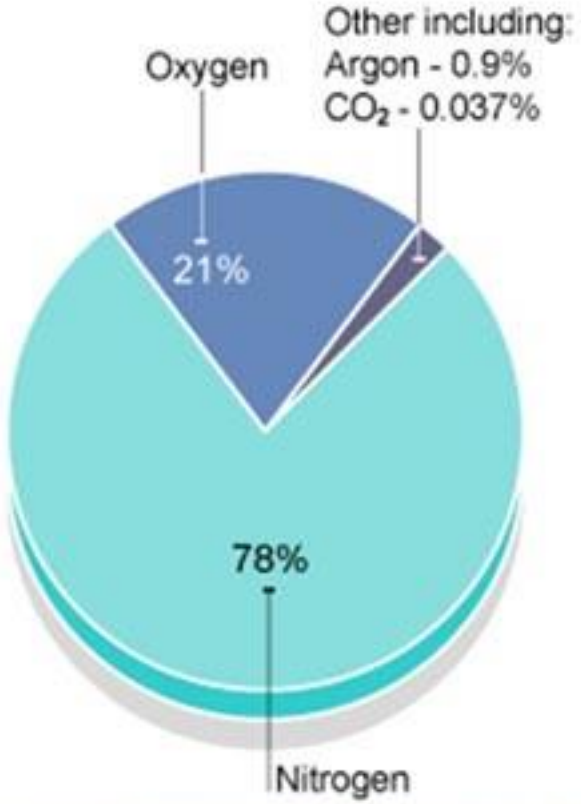
Il ciclo del Carbonio

The Global Carbon Cycle

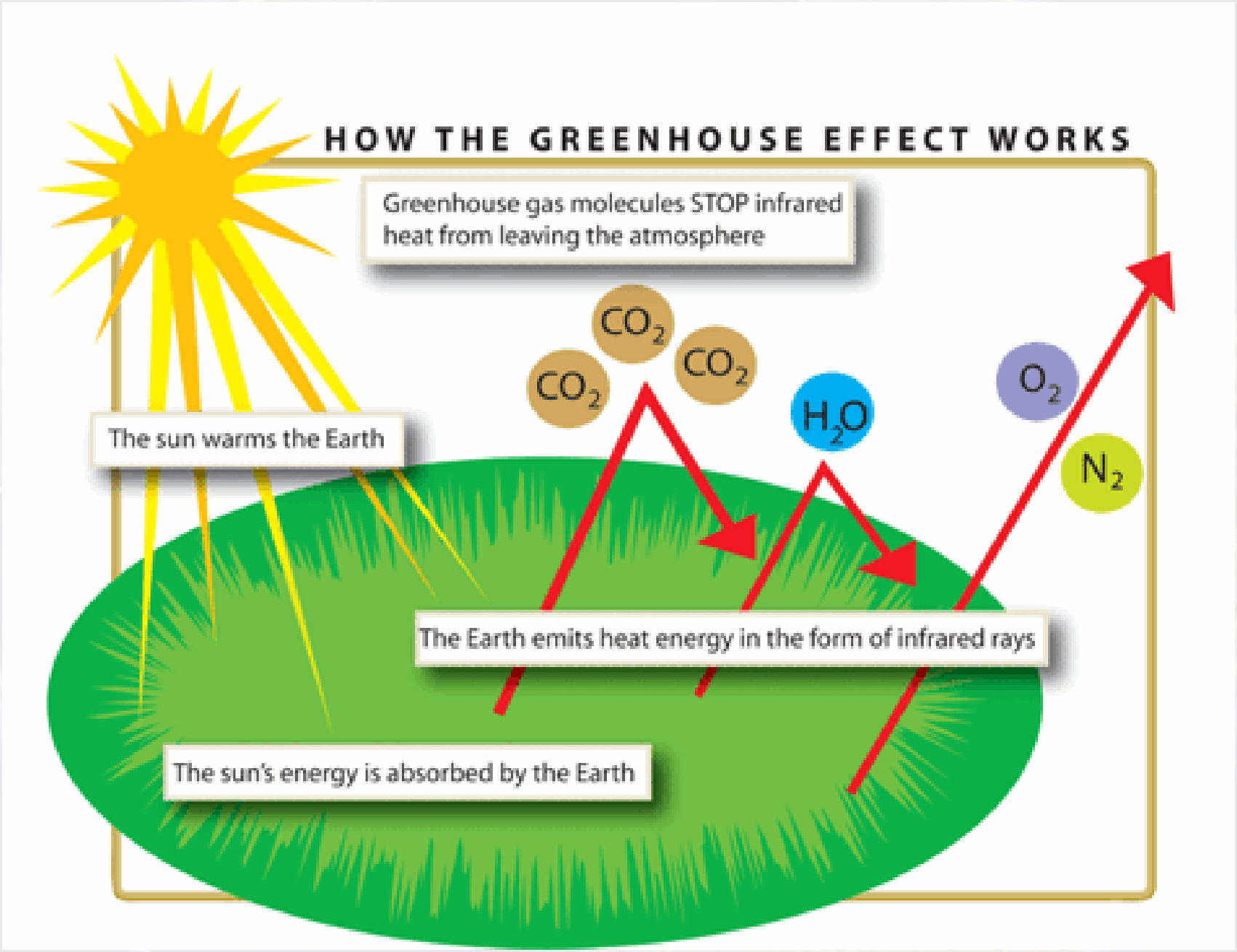


Composizione dell'atmosfera

- Nitrogen – 78%
- Oxygen – 21%
- Argon - .93%
- Carbon Dioxide - .03%
- Water Vapor - .0 to 4%
- Trace Gases

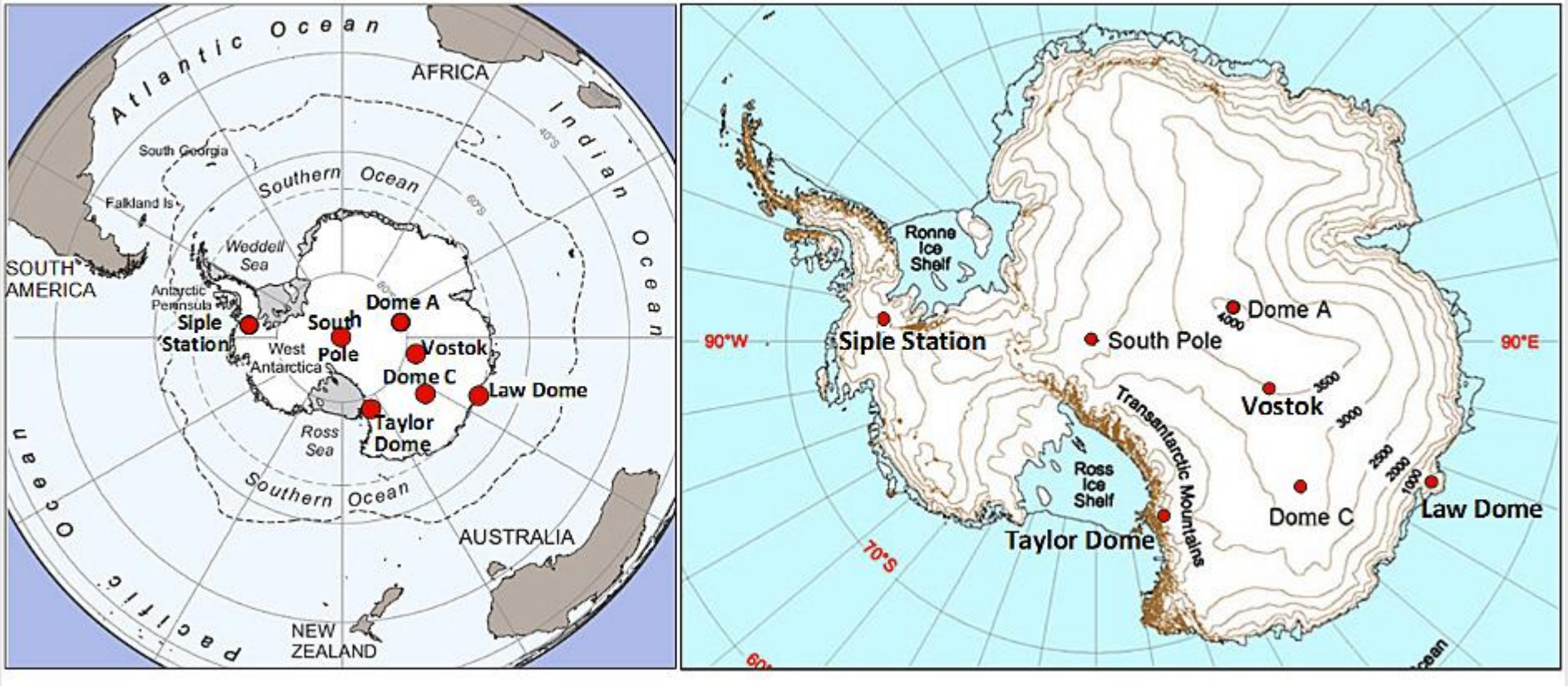


http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/21c/atmosphere/chemicalsairrev1.shtml



https://www.boilermakers.org/resources/news/climate_change/discovery_of_global_warming

CDIAC
Carbon Dioxide Information Analysis Center

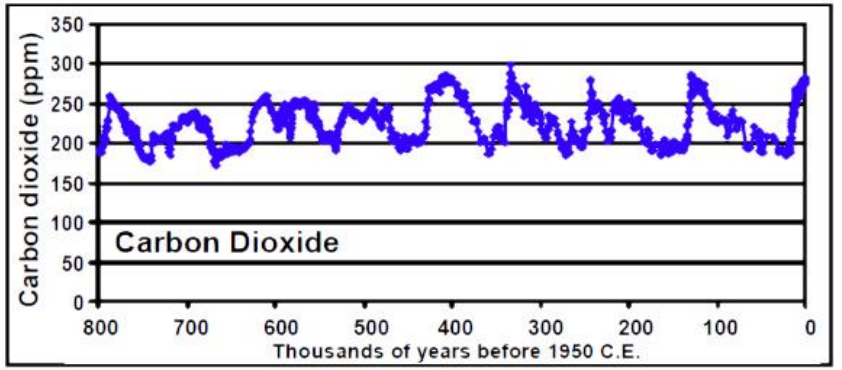


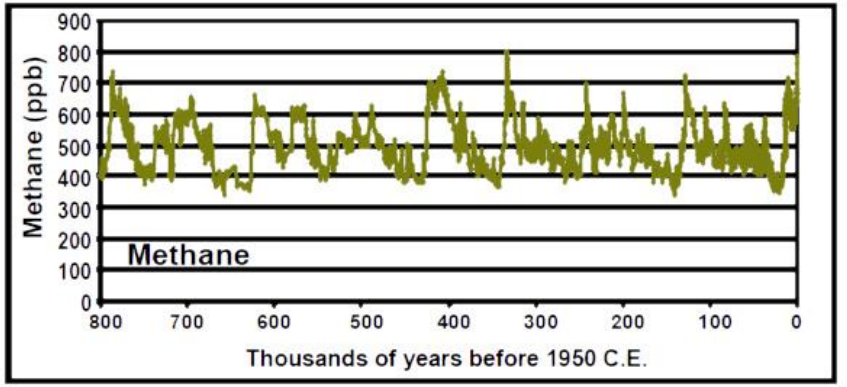
Il progetto «Antarctic ice-core records of carbon dioxide (CO_2)» ha fino ad oggi permesso di risalire alla concentrazione atmosferica di circa 800000 anni fa nel sito Dome C e fino a più di 400000 anni fa nel sito di Vostok

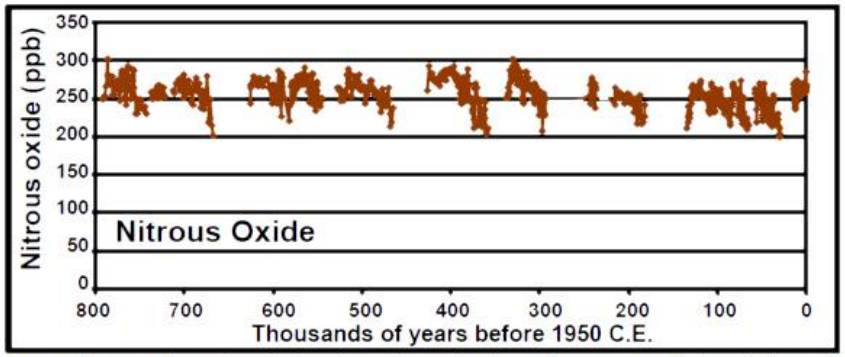
La banda nera evidenzia un’eruzione avvenuta 21000 anni fa. Credit: Heidi Roop, National Science Foundation (NSF).

Magazzino delle carote di ghiaccio della National Ice Core Laboratory. Il magazzino è mantenuto a -36 gradi Celsius (-32.8 gradi Fahrenheit). Credit: Karen Pearce, National Science Foundation (NSF).

CDIAC
Carbon Dioxide Information Analysis Center

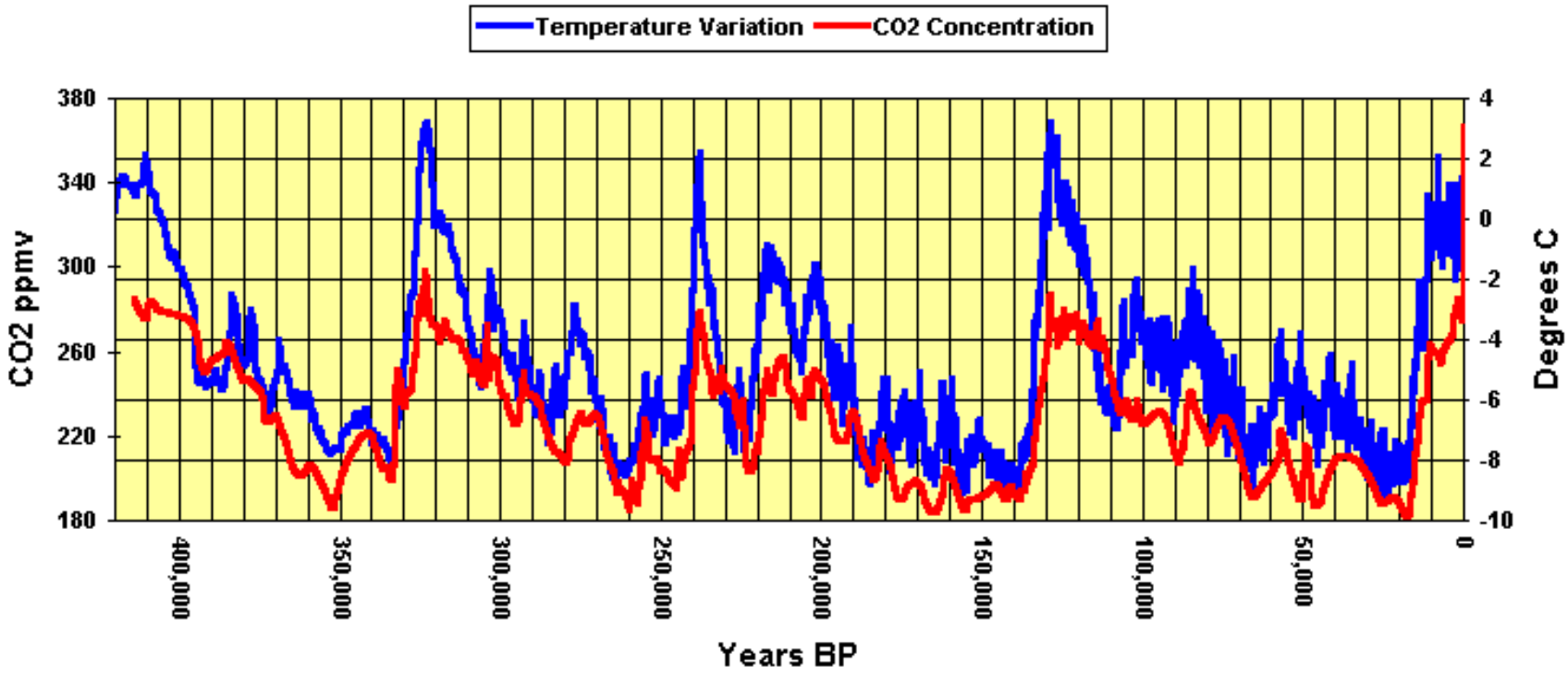






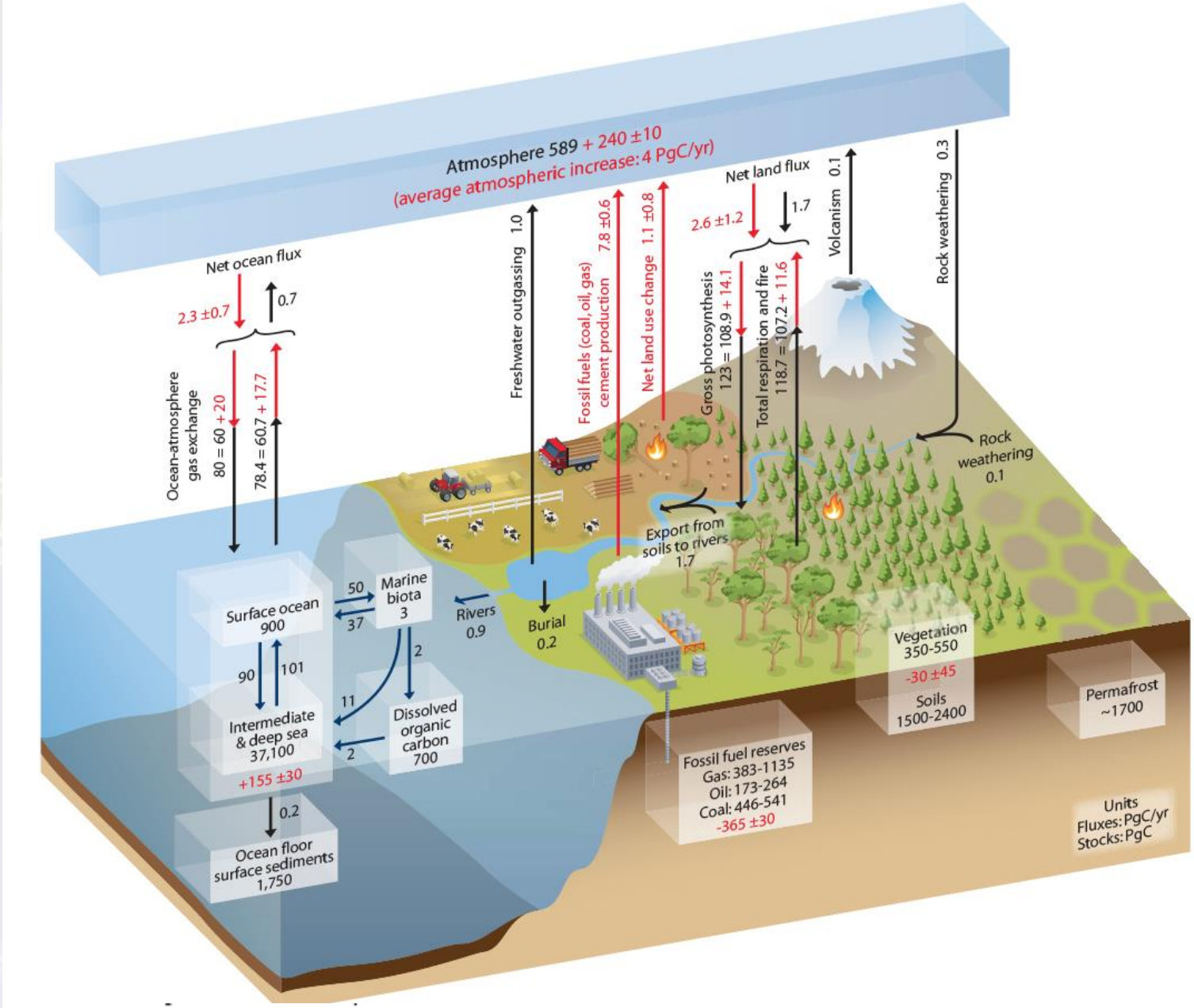
Atmospheric carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), and nitrous oxide (N_2O) derived from air bubbles trapped in ice at Dome C, Antarctica. Units are parts per million (ppm) for CO_2 and parts per billion (ppb) for CH_4 and N_2O. Year zero can be taken as 1950 of the Christian Era (C.E.) Minus signs indicate years before 1950 C.E.

Antarctic Ice Core Data 1

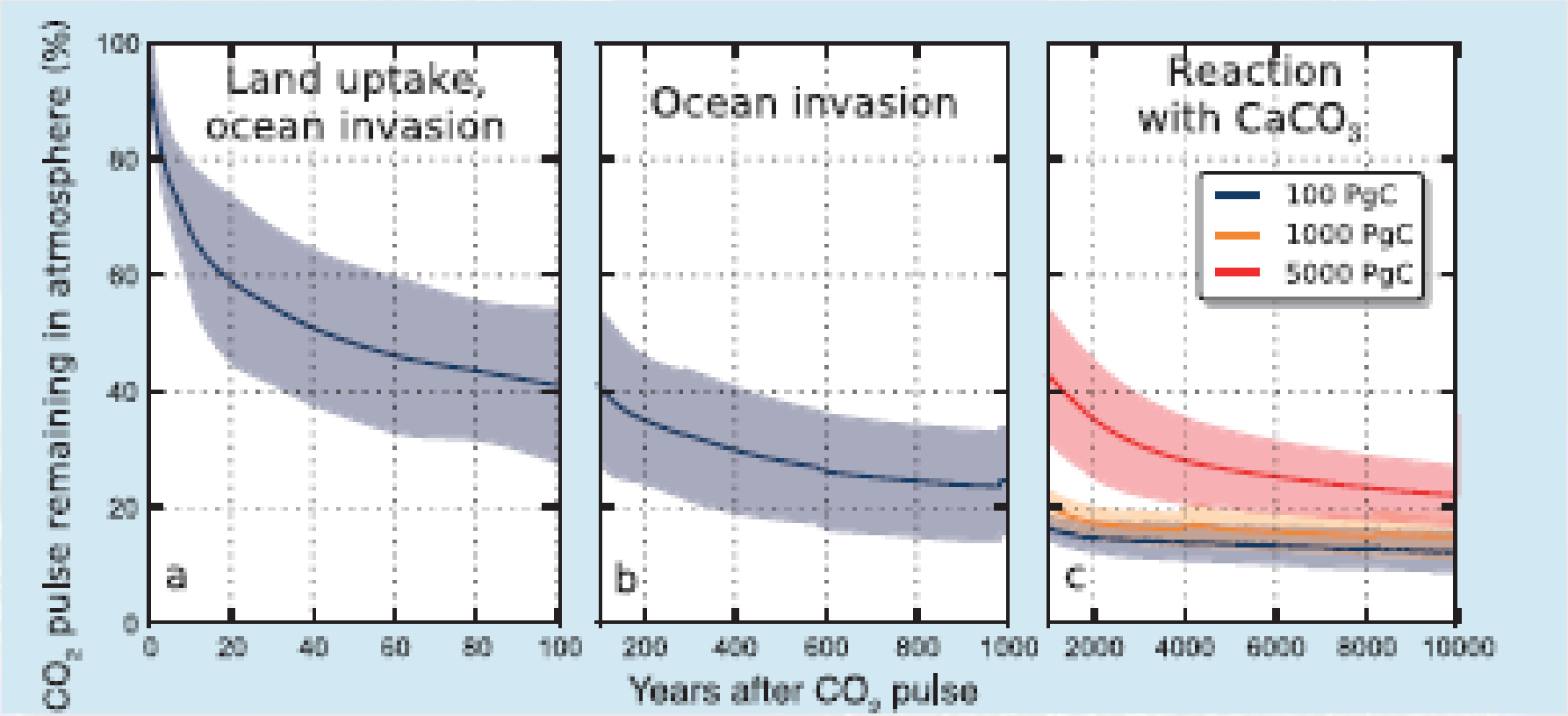


Concetti principali

- Flussi di CO_2 pre-antropogenici *in* e *out*
- Flussi di CO_2 attuali
- Quali sono i serbatoi di C?
- Tempo di resilienza del C?
- Tempi di rimozione del C dall'atmosfera – la lunga coda.



IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.



IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

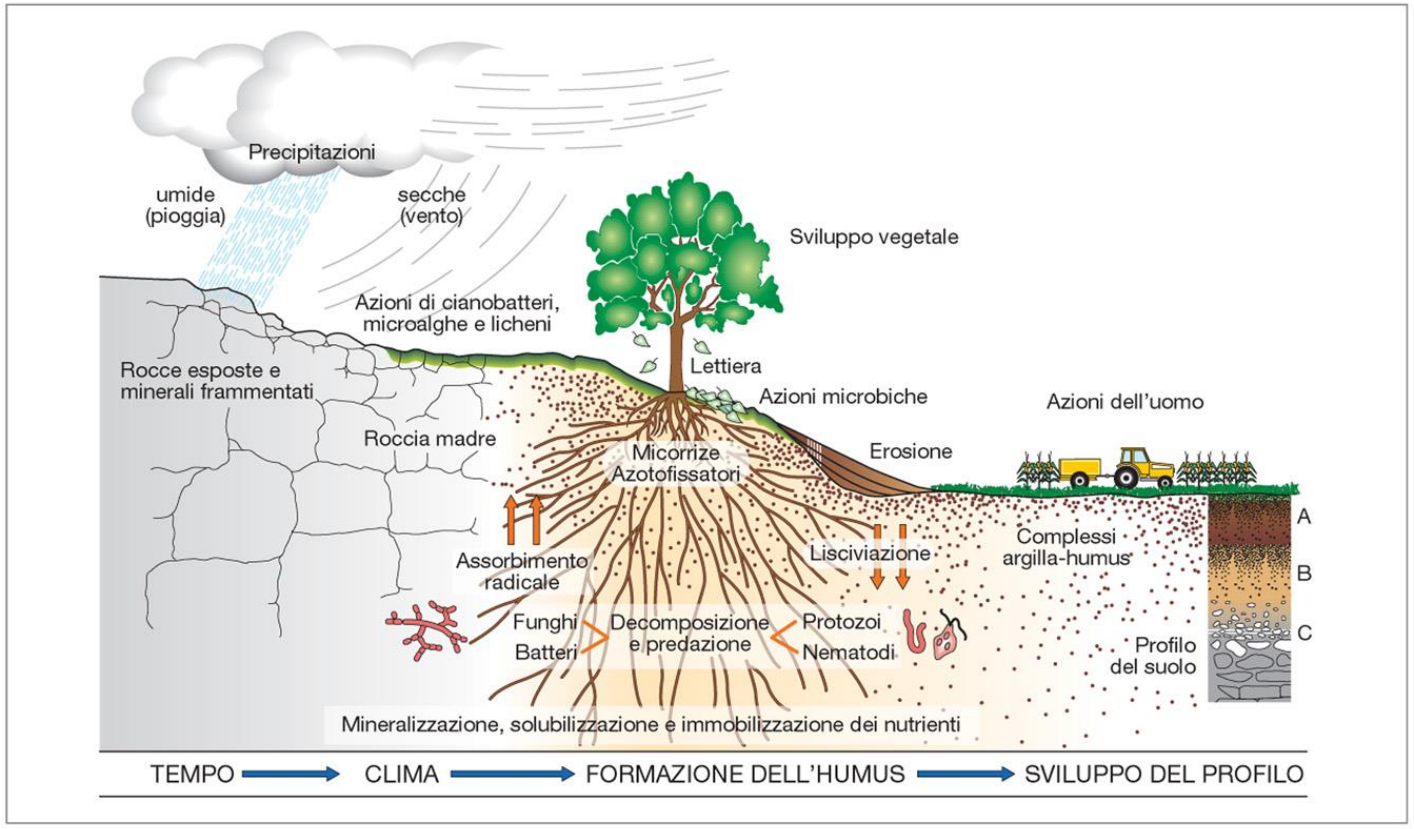
Box 6.1, Table 1 | The main natural processes that remove CO_2 consecutive to a large emission pulse to the atmosphere, their atmospheric CO_2 adjustment time scales, and main (bio)chemical reactions involved.

Processes	Time scale (years)	Reactions
Land uptake: Photosynthesis–respiration	$1–10^2$	$6CO_2 + 6H_2O + \text{photons} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{heat}$
Ocean invasion: Seawater buffer	$10–10^3$	$CO_2 + CO_3^{2-} + H_2O \rightleftharpoons 2HCO_3^-$
Reaction with calcium carbonate	$10^3–10^4$	$CO_2 + CaCO_3 + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$
Silicate weathering	$10^4–10^6$	$CO_2 + CaSiO_3 \rightarrow CaCO_3 + SiO_2$

E’ stato stimato che tra il 15 e il 40% della CO_2 emessa fino al 2100 rimarrà nell’atmosfera per almeno 1000 anni

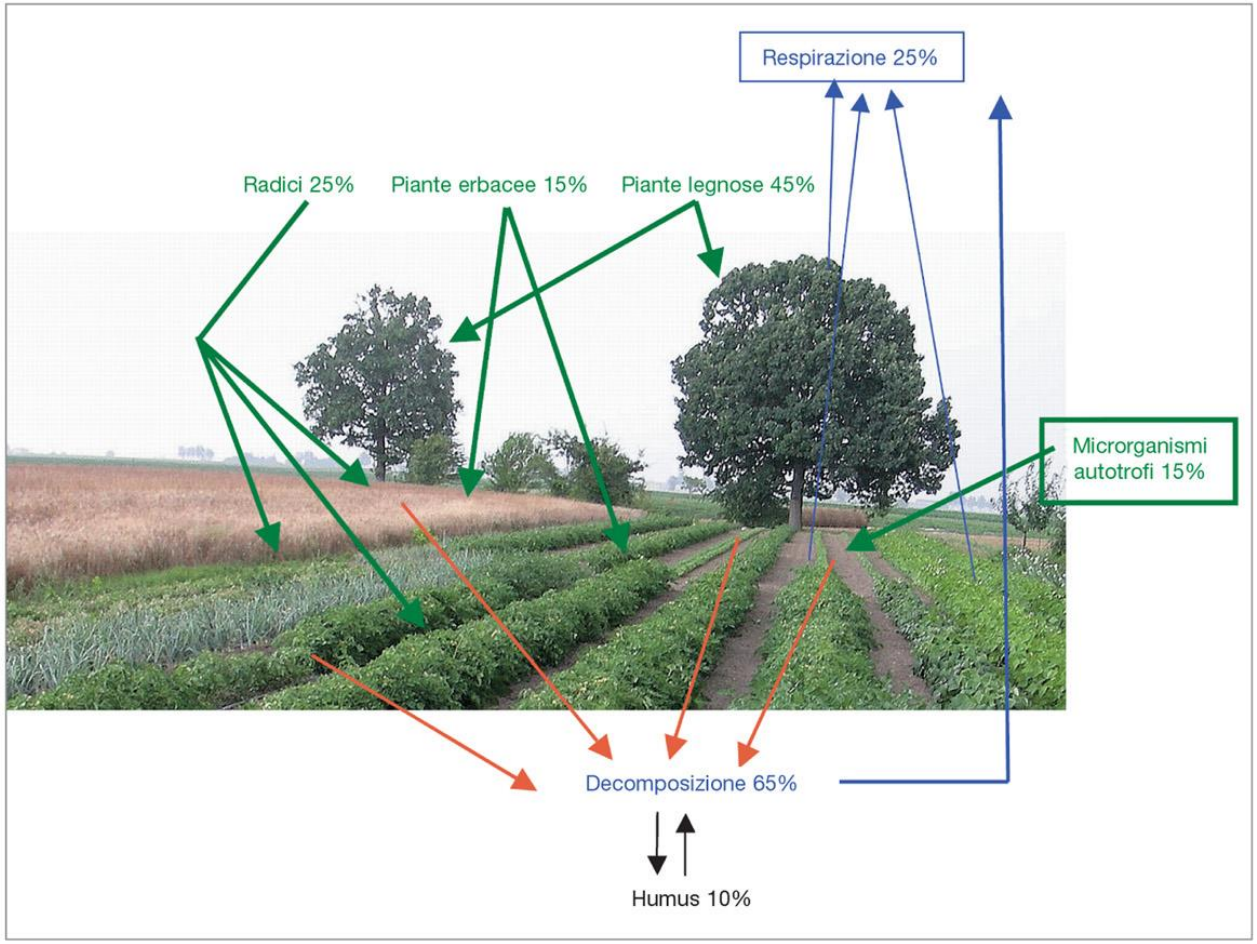
IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

La sostanza organica nel suolo



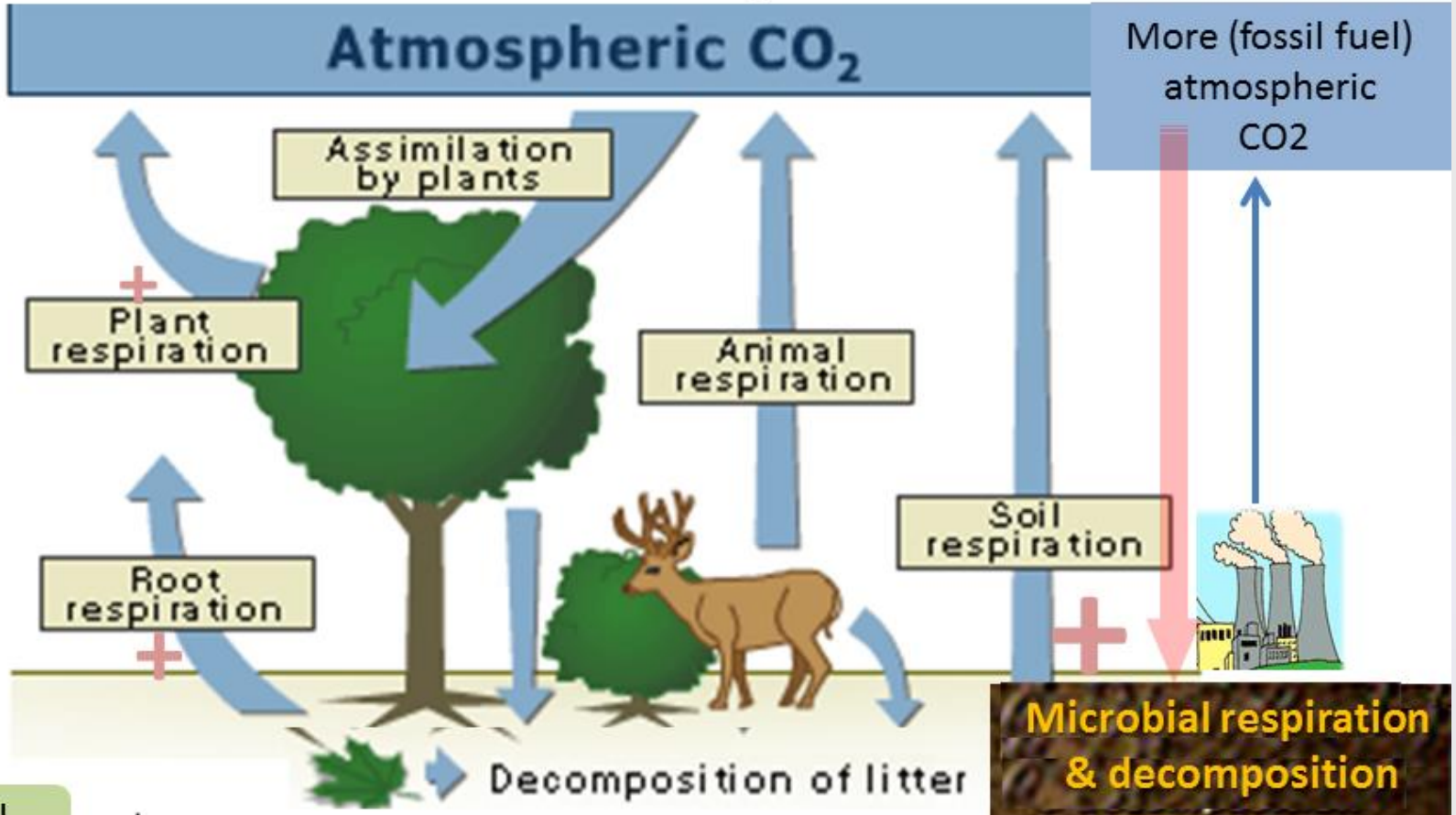
 Copyright 2008 C.E.A. Casa Editrice Ambrosiana

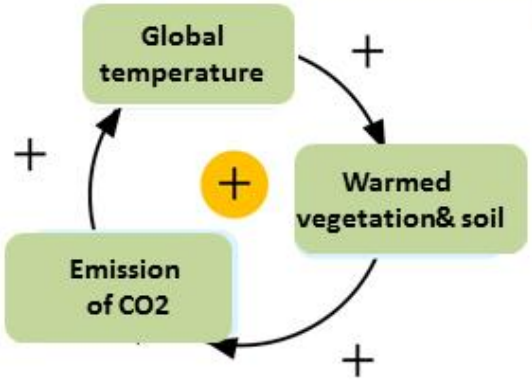
Flussi di C nell'ecosistema suolo



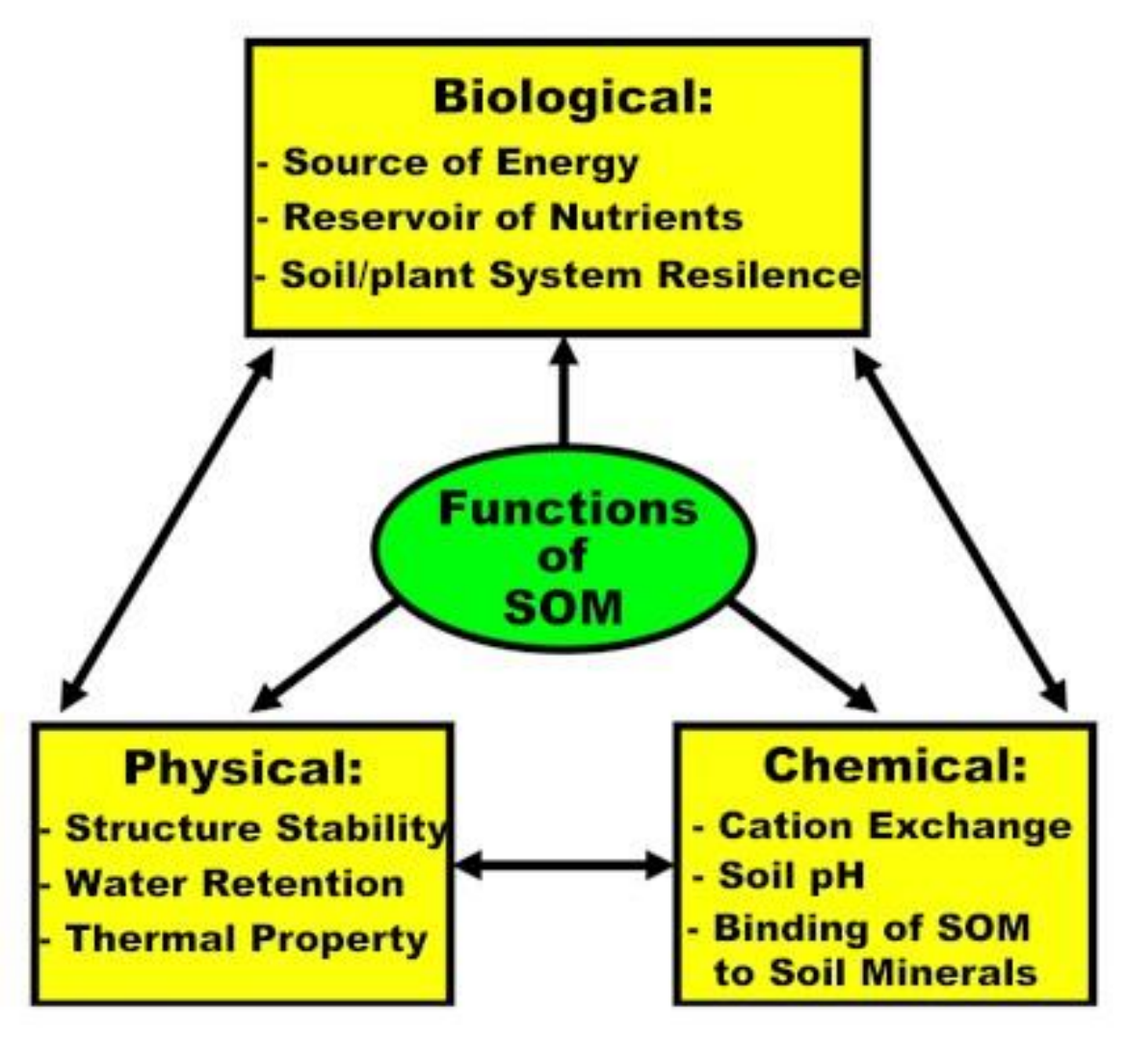
 Copyright 2008 C.E.A. Casa Editrice Ambrosiana

Terrestrial carbon cycle feedback

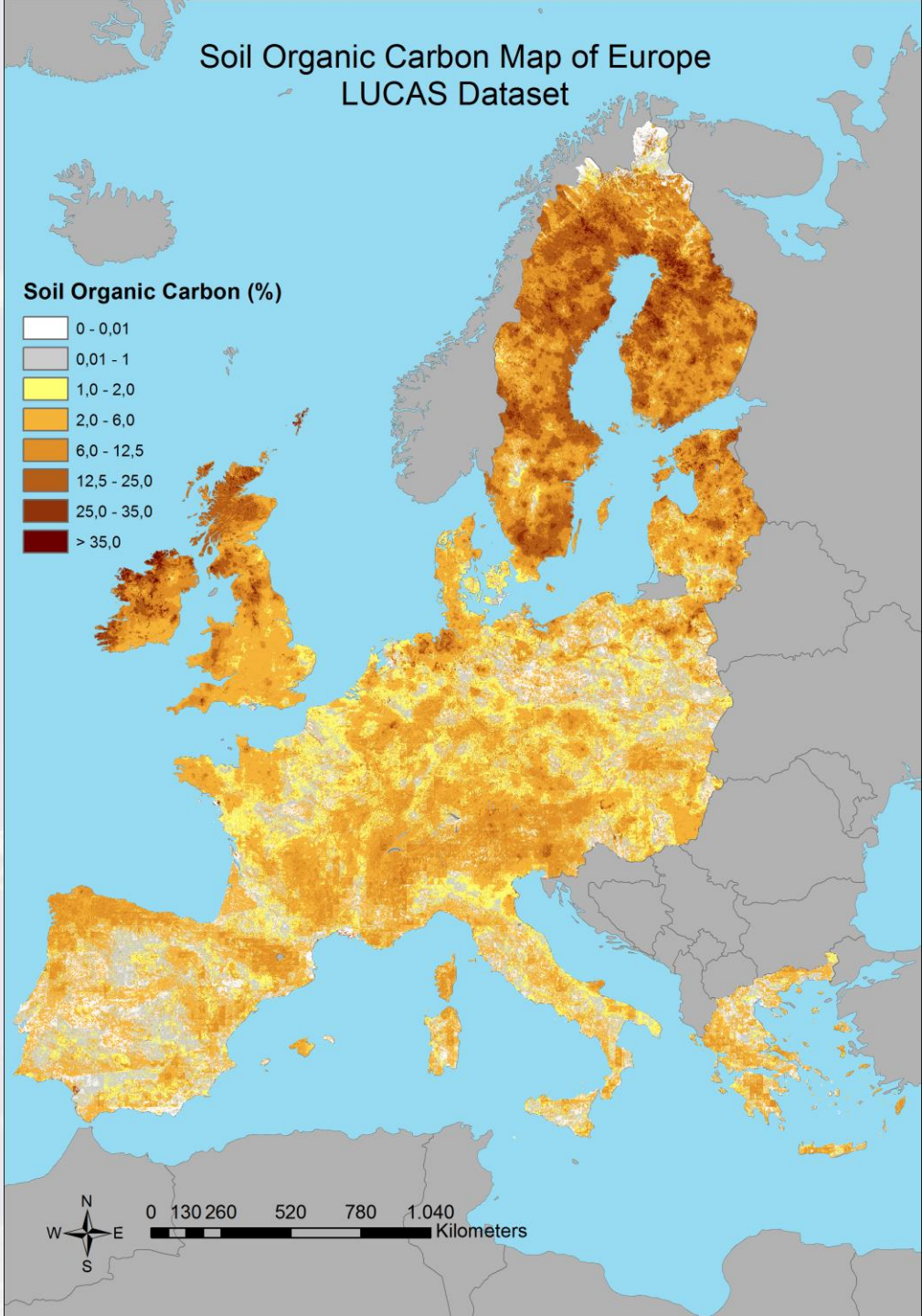




Warmed up soil increases microbial respiration emitting more CO2


Biological:
- Source of Energy
- Reservoir of Nutrients
- Soil/plant System Resilence
Functions of SOM
Physical:
- Structure Stability
- Water Retention
- Thermal Property
Chemical:
- Cation Exchange
- Soil pH
- Binding of SOM to Soil Minerals

Contenuto in carbonio organico nei suoli



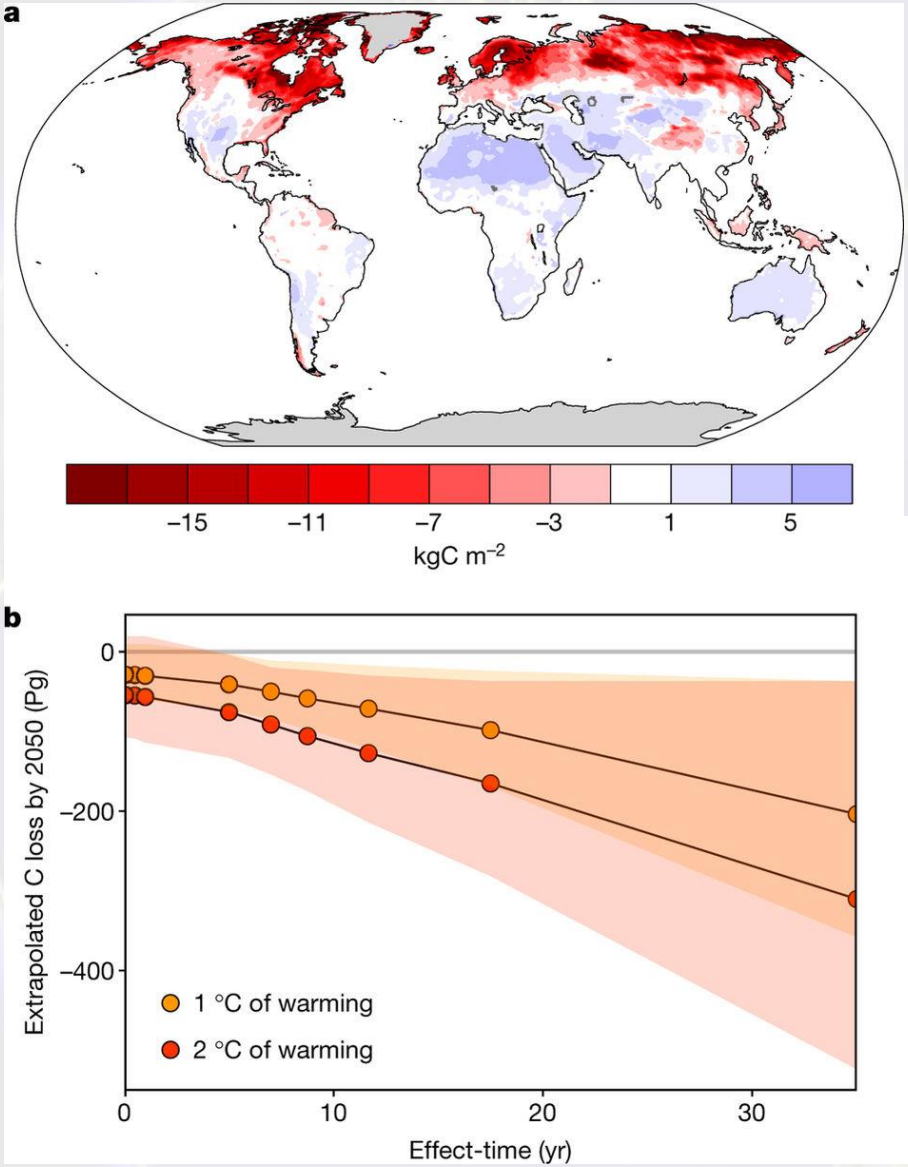


Figure 3 | Spatial extrapolation of the temperature vulnerability of soil C stocks. a, Map of predicted changes in soil C stocks per pixel by 2050 under the 'no acclimatization' scenario. This map was generated by extrapolating Equation (2) using spatially explicit estimates of soil C stocks[19] and soil surface temperature change[22] to reveal the spatial variation in projected changes in surface soil C stocks (0–15 cm depth) expected under a 1 °C rise in global average soil surface temperature. Note that Equation (2) reflects the maximum effect-time scenario, which generates the largest possible estimates of soil C change. This map also predicts C gains in tropical/desert regions that contain almost no soil C at present, but our lack of data in these mid-latitude regions means that we have low confidence in these effects. **b**, Total reductions in the global C pool under 1 °C and 2 °C global average soil surface warming by 2050, as expected under a full range of different soil C effect-time scenarios (*x* axis). Note that effect-time refers to the rate at which the full soil C response to warming is realized. Shaded areas indicate the 95% confidence intervals around the average C losses (dots) for each scenario. The rapid effect-time scenarios (for example, one week to one year) result in lower total soil C losses than the maximum effect-time scenario, but all simulations reveal considerable global losses of soil C under warming over the next 35 years.

IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Degradazione della sostanza organica nei suoli

Ciclo del carbonio nel suolo

- **Pool attivo** è facile da assimilare e viene degradato velocemente (carboidrati semplici, proteine, acidi nucleici , acidi organici, etc.).
- **Pool passivo** richiede più processi prima che l'assimilazione sia possibile (polimeri come la cellulosa, le emicellulose, le pectine, la lignina). Energia è richiesta per la rottura della stabile struttura polimerica
- **Pool stabile** difficile da degradare (complessi umici)

Table 11–3 **Representative compositions of above-ground corn, soybean, and wheat residues (g kg^{-1} dry mass).**

Component	Corn	Soybean	Wheat
Soluble components	293	357	288
Hemicellulose	268	90	184
Cellulose	284	222	361
Lignin	56	119	141
Ash*	93	64	84
Nitrogen	10	22	9

*Substance remaining after ignition of the plant material.

From Broder and Wagner (1988). Used with permission.

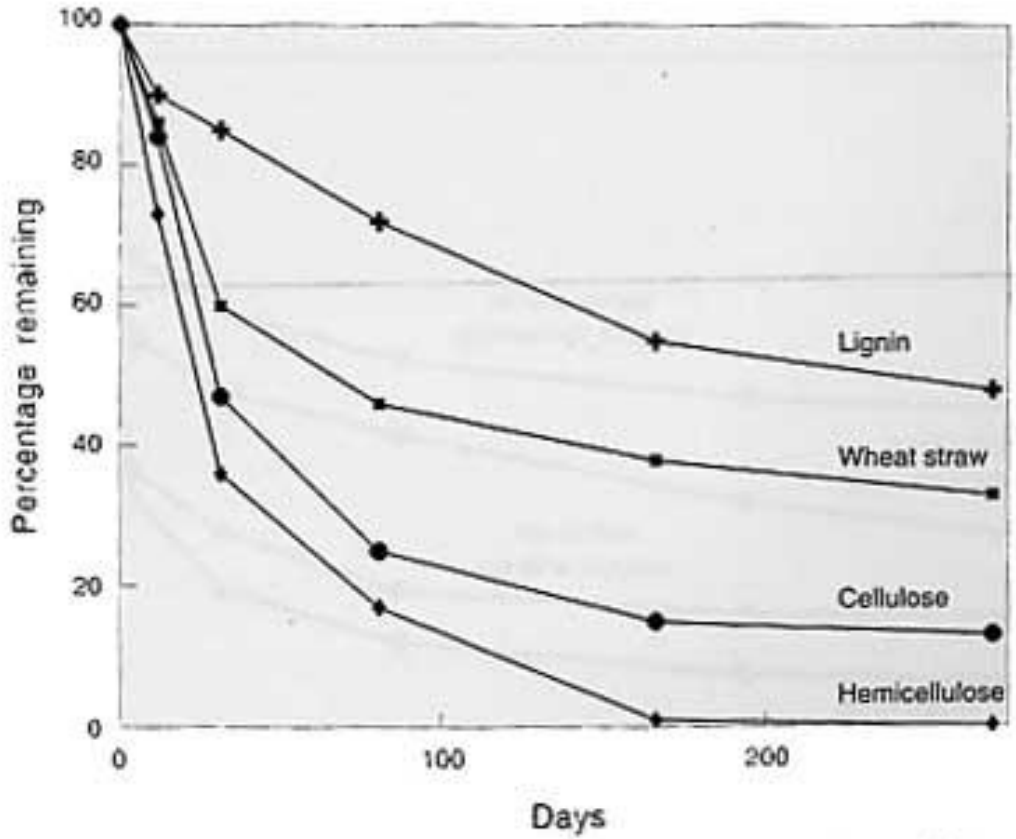
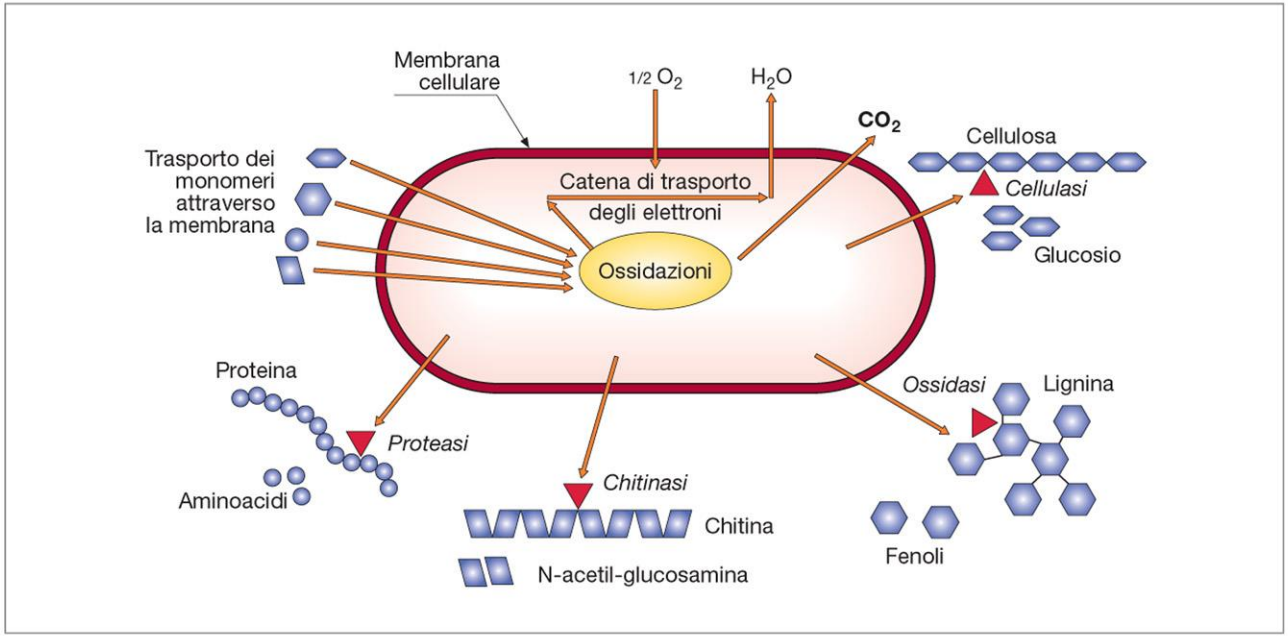


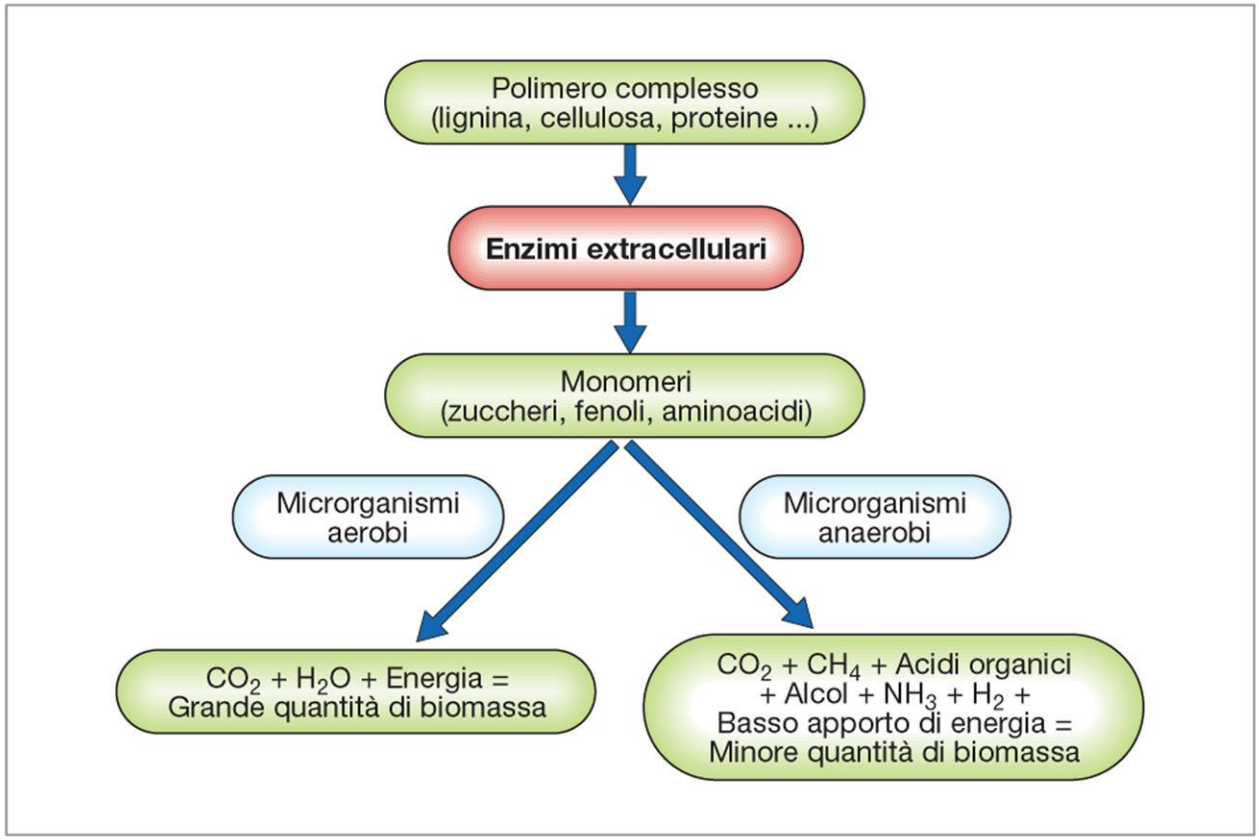
Figure 11–1 Decomposition of wheat straw and its major constituents in a silt loam with the residue buried 12 June in nylon bags to facilitate periodic removal and analysis. The initial composition of wheat straw was 50% cellulose, 25% hemicellulose, and 20% lignin. *Adapted from Broder (1985). Used with permission.*

Decomposizione dei polimeri



 Copyright 2008 C.E.A. Casa Editrice Ambrosiana

Decomposizione dei polimeri



 Copyright 2008 C.E.A. Casa Editrice Ambrosiana

Fattori fondamentali nella degradazione della S.O.

- ***Temperatura*:** le reazioni biochimiche generalmente incrementano con l'aumento della temperature.

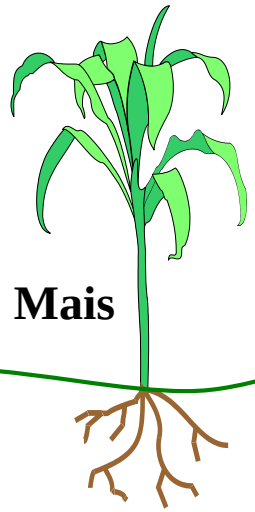
- ***Ossigeno*:** la presenza di O_2 permette la respirazione aerobia che è molto più efficiente per la decomposizione della sostanza organica rispetto alla respirazione anaerobia e alla fermentazione. L'O_2 influenza sia i tassi di degradazione sia i prodotti finali. Poiché temperatura e disponibilità di O_2 influenzano notevolmente il processo di decomposizione, basse temperature e ambienti anaerobici, generalmente, portano nel tempo ad un accumulo di sostanza organica nel suolo

- ***Qualità del substrato*** La produzione di biomassa richiede carbonio, altri nutrienti ed energia, ma il carbonio può essere indirizzato nella sintesi di biomassa solamente se i nutrienti necessari sono disponibili (per esempio per sintetizzare le proteine la disponibilità di azoto è importante come quella del carbonio).

- **Rapporto C/N**

Rapporto Carbonio / Azoto

Rapporto C/N alto



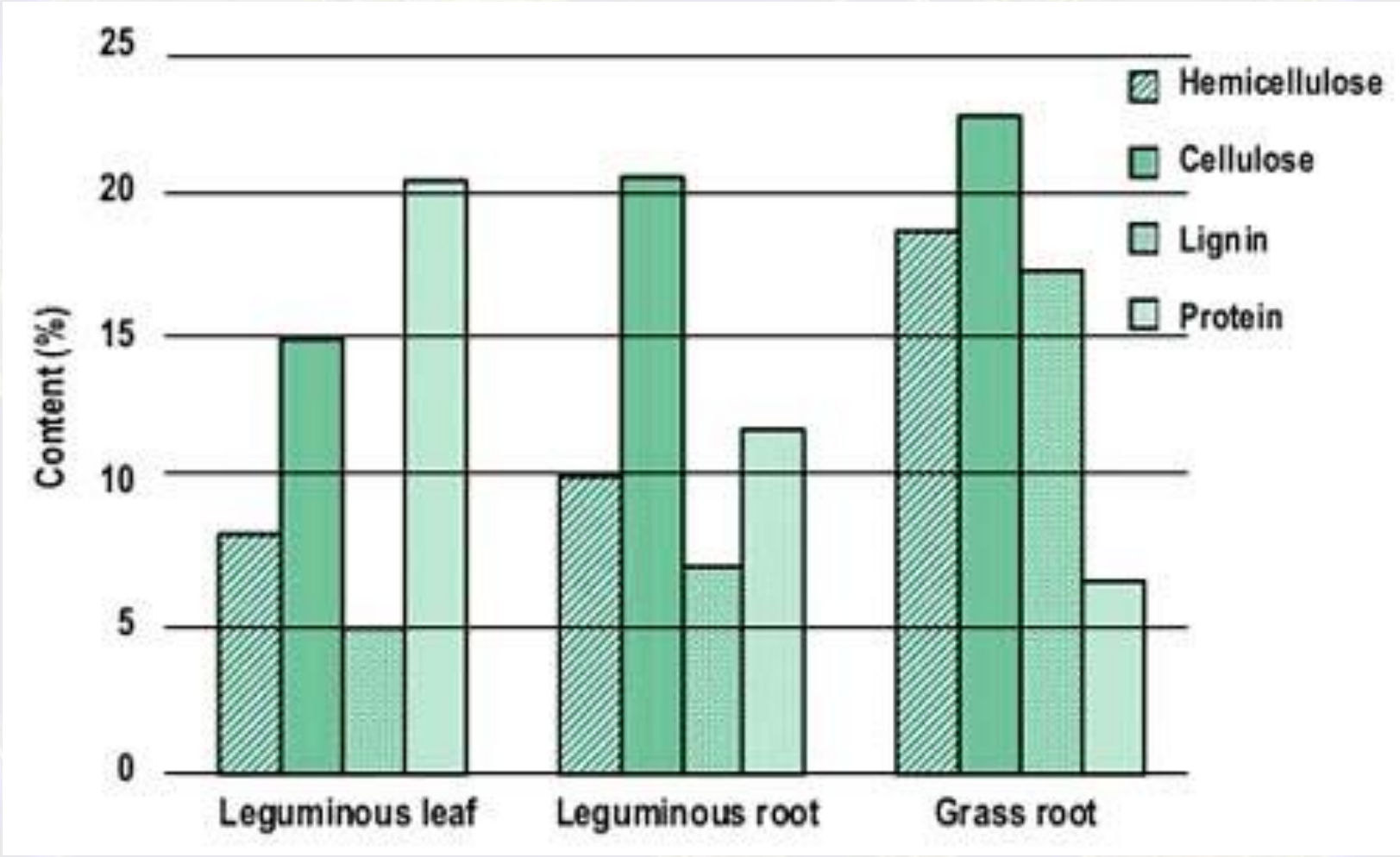
Mais

1. **Decomposizione lenta.**
2. **L'attività microbica porta ad una riduzione dei nitrati e dell'ammonio nel suolo fino a quando essi muoiono e rilasciano i propri costituenti cellulari**

Raporto C/N basso

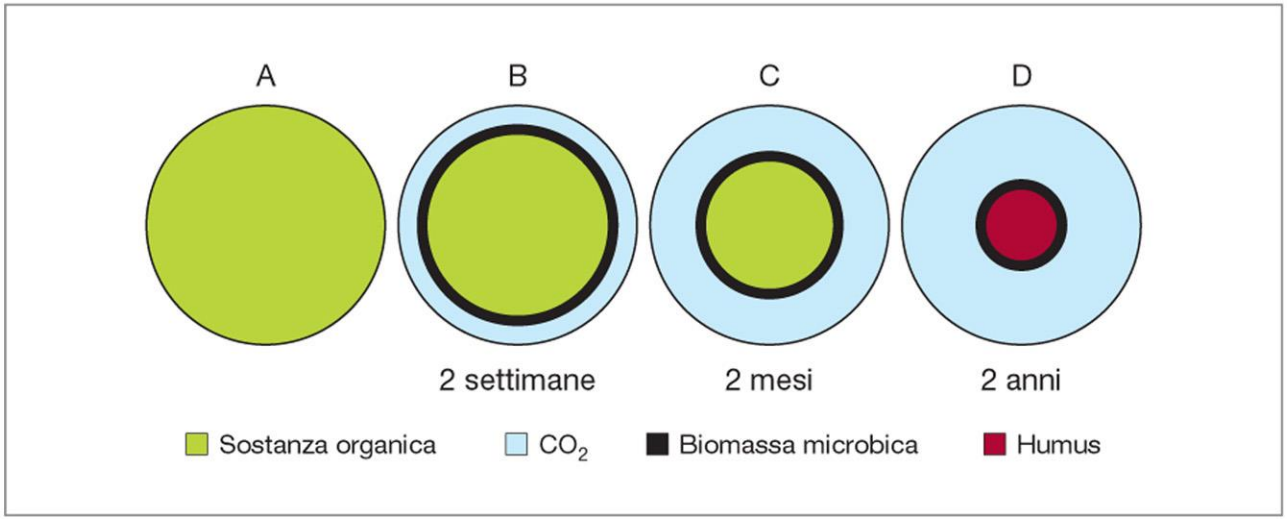
Leguminose

1. **La decomposizione è veloce .**
2. **Le necessità nutrizionali dei microrganismi sono soddisfatte dall'azoto dei tessuti vegetali, quando muoiono vi è un incremento di azoto nel suolo.**


25
20
15
10
5
0
Content (%)
Hemicellulose
Cellulose
Lignin
Protein
Leguminous leaf
Leguminous root
Grass root

“Non c’è nessun composto naturale che non possa essere degradato da qualche microrganismo, data l’elevata diversità presente nel mondo microbico”

Mineralizzazione della sostanza organica nel suolo



 Copyright 2008 C.E.A. Casa Editrice Ambrosiana

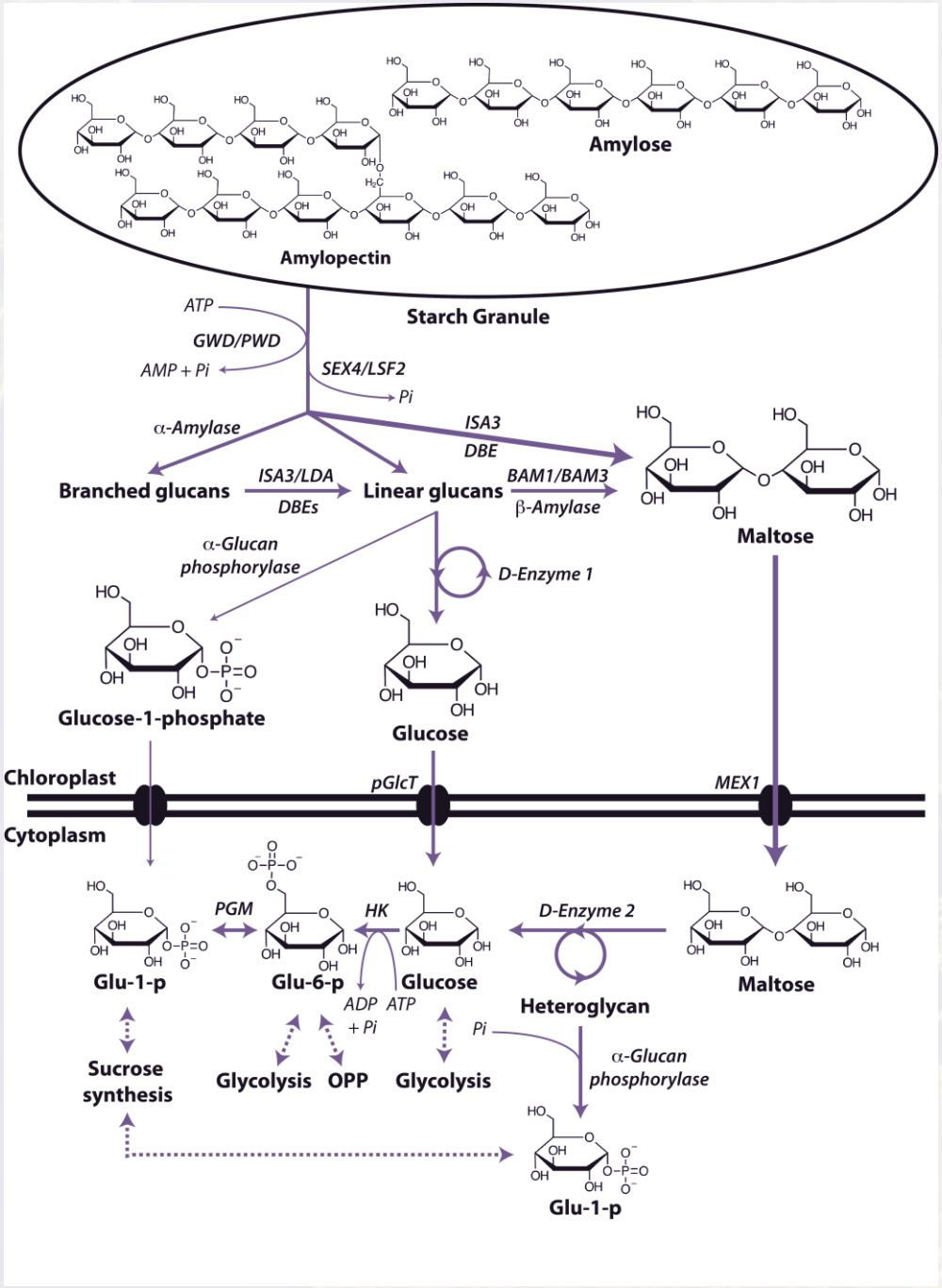
Composti organici

- Glucidi semplici
- Polimeri semplici
- Polimeri ad alto peso molecolare

Polimeri semplici

Degradazione dell'amido

- L'amido è un carboidrato costituito da catene lineari di α1-4 glucosio e catene ramificate di amilopectina (α1-6 glucosio).
- la degradazione avviene a carico delle α1-4 glucosidasi, previa formazione di un disaccaride (maltosio).
- Molti microrganismi, batteri e funghi, sono amilolitici. I lieviti non sono amilolitici.


Amylose
Amylopectin
Starch Granule
ATP
GWD/PWD
AMP + Pi
SEX4/LSF2
Pi
α-Amylase
ISA3
DBE
Branched glucans
ISA3/LDA
DBEs
Linear glucans
BAM1/BAM3
β-Amylase
Maltose
α-Glucan
phosphorylase
D-Enzyme 1
Glucose-1-phosphate
Glucose
Chloroplast
pGlcT
MEX1
Cytoplasm
PGM
HK
D-Enzyme 2
Glu-1-p
Glu-6-p
Glucose
Heteroglycan
Maltose
ADP
ATP
+ Pi
Pi
Sucrose
synthesis
Glycolysis
OPP
Glycolysis
α-Glucan
phosphorylase
Glu-1-p

Degradazione delle emicellulose

Le emicellulose non hanno relazioni strutturali con la cellulosa, sono costituite da:

- pentosi (xilosio, arabinosio ecc.)
- esosi (mannosio, glucosio, galattosio ecc.)
- acidi uronici (ac. galatturonico, ac. glucoronico)

Molti enzimi sono coinvolti nella degradazione della emicellulosa includendo sia endoenzimi che esoenzimi. I prodotti della degradazione sono CO_2, H_2O e cellule oltre a vari carboidrati monomeri e dimeri. In anaerobiosi batteri del genere *Clostridium* fermentano le emicellulose con produzione di acidi organici e CO_2

- **funghi:** *Penicillum, Aspergillus, Trichoderma Rhizopus.*
- **batteri aerobi:** *Pseudomonas, Acromobacter, Streptomyces ecc.*.
- **batteri anaerobi:** *Clostridium*

Table 1. Recognized hemicellulases.

EC Number	Recommended name	Systematic name
3.2.1.8	Endo-1,4-β-xylanase	1,4-β-D-Xylan xylanohydrolase
3.2.1.37	Xylan 1,4-β-xylosidase	1,4-β-D-Xylan xylohydrolase
3.2.1.32	Xylan endo-1,3-β-xylosidase	1,3-β-D-Xylan xylanohydrolase
3.2.1.72	Xylan 1,3-β-xylosidase	1,3-β-D-Xylan xylohydrolase
3.2.1.55	α-L-Arabinofuranosidase	α-L-Arabinofuranoside arabinofuranosidase
3.2.1.99	Arabinan endo-1,5-α-L-arabinosidase	1,5-α-L-Arabinan 1,5-α-L-arabinohydrolase
3.2.1.78	Mannan endo-1,4-β-mannosidase	1,4-β-D-Mannan mannanohydrolase
3.2.1.100	Mannan 1,4-β-mannobiosidase	1,4-β-D-Mannan mannobiohydrolase
3.2.1.101	Mannan endo-1,6-β-mannosidase	1,6-β-D-Mannan mannanhydrolase

Degradazione delle pectine

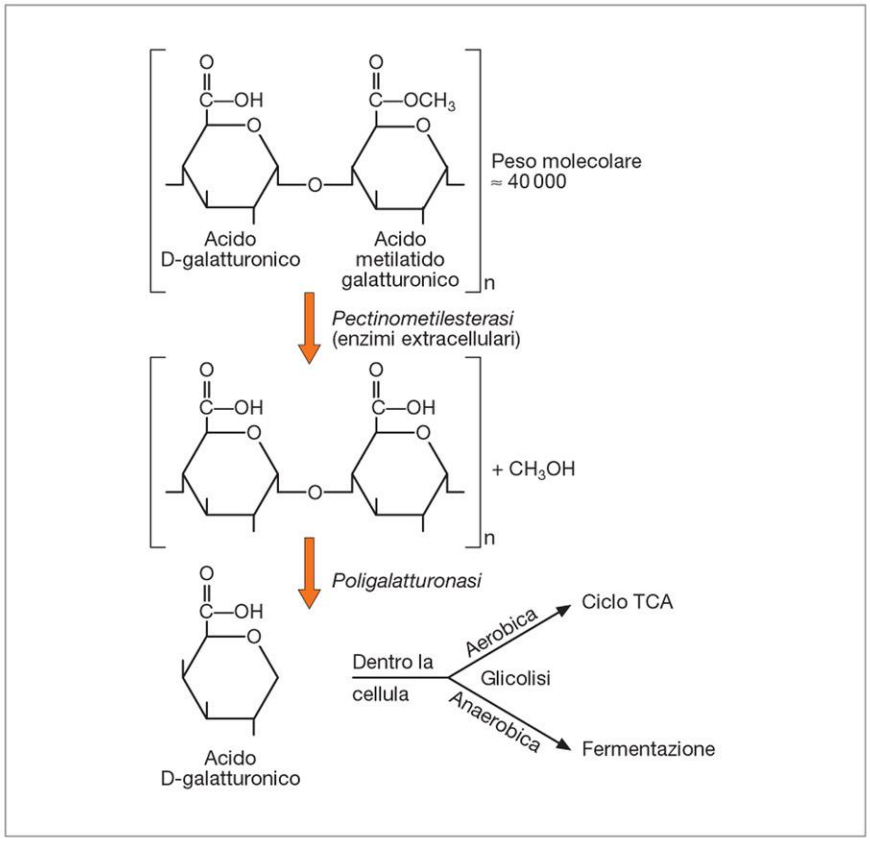
Le pectine si distinguono dalle emicellulose per la ricchezza in acido galatturonico e per la presenza di numerosi gruppi carbossilici che conferiscono loro proprietà di complessare cationi, di formare estreri metilici e di gelificare.

La degradazione avviene ad opera di tre principali azioni enzimatiche:

- La protopectinasi purifica la pectina da altri componenti della parete
- Decomposizione della pectina in ac. pectico e alcool metilico (pectina-metil-esterasi).
- Idrolisi delle catene di acido pectico per intervento delle poligalatturonasi o polimetilgalatturonasi al fine di produrre acido galatturonico.

Non tutti i microrganismi hanno l'intero pool enzimatico

- **funghi:** *Penicillum, Aspergillus, Cladosporium ecc.*
- **batteri aerobi:** *Bacillus*.
- **batteri anaerobi:** *Clostridium, Plectridium ecc.*



 Copyright 2008 C.E.A. Casa Editrice Ambrosiana

Degradazione della chitina

La chitina è un biopolimero la cui unità fondamentale è un amino-zucchero, N-acetil-glucosamina. Deriva dall'esoscheletro degli artropodi o dalla parete cellulare dei funghi.

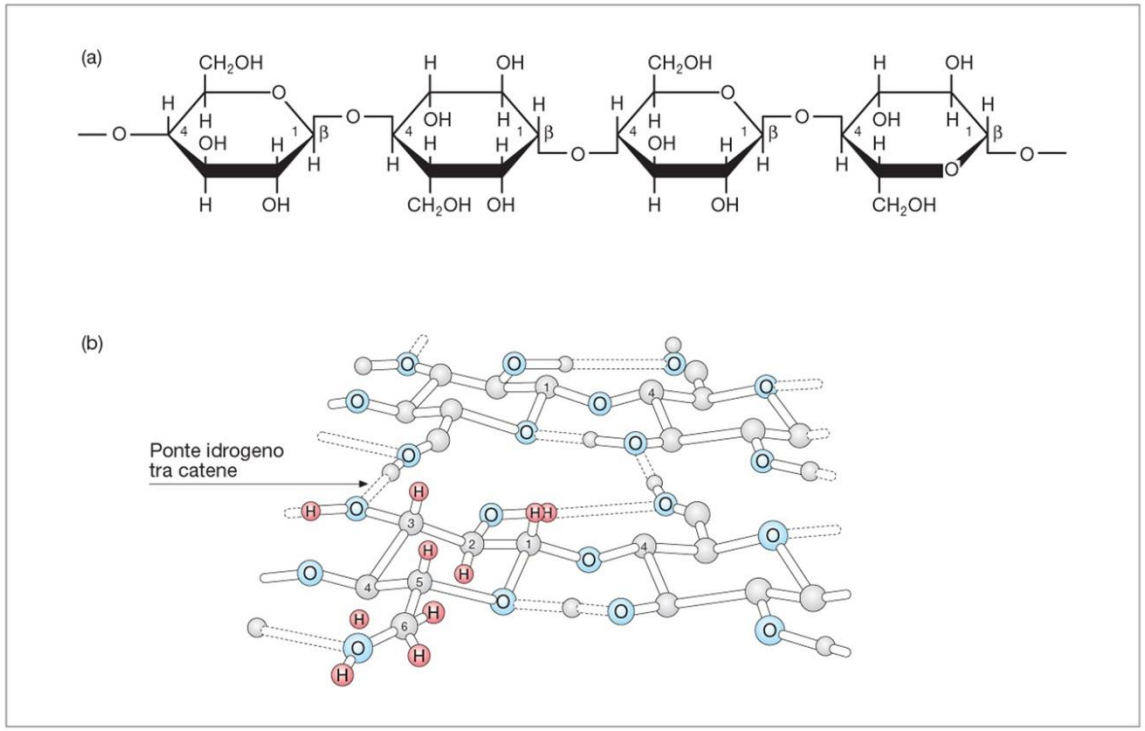
Microrganismi particolarmente attivi nella degradazione della chitina sono gli attinomiceti (*Streptomyces*).

Gli enzimi che degradano la chitina sono le **chitinasi.** L'enzima rompe le catene di amino-zuccheri in molecole di diacetil-chitobiosio che a loro volta sono scisse dalla chitobiasi in acetil-glucosamina. La liberazione dell'ammoniaca porta ad un innalzamento del pH che facilita la degradazione della chitina anche in ambienti forestali.

Polimeri ad alto peso molecolare

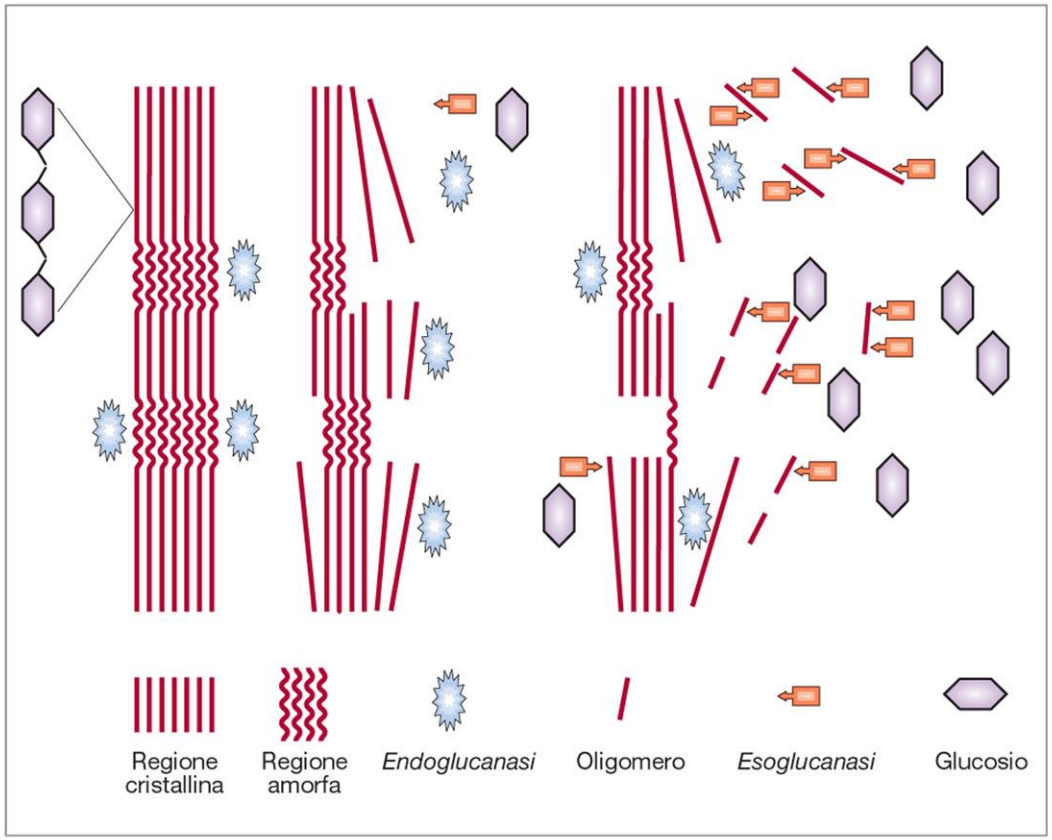
Struttura della cellulosa

E’ il polisaccaride più abbondante, rappresenta mediante il 45% dei residui delle piante. L’unità fondamentale è il cellobiosio (dimero) e non il glucosio (monomero)



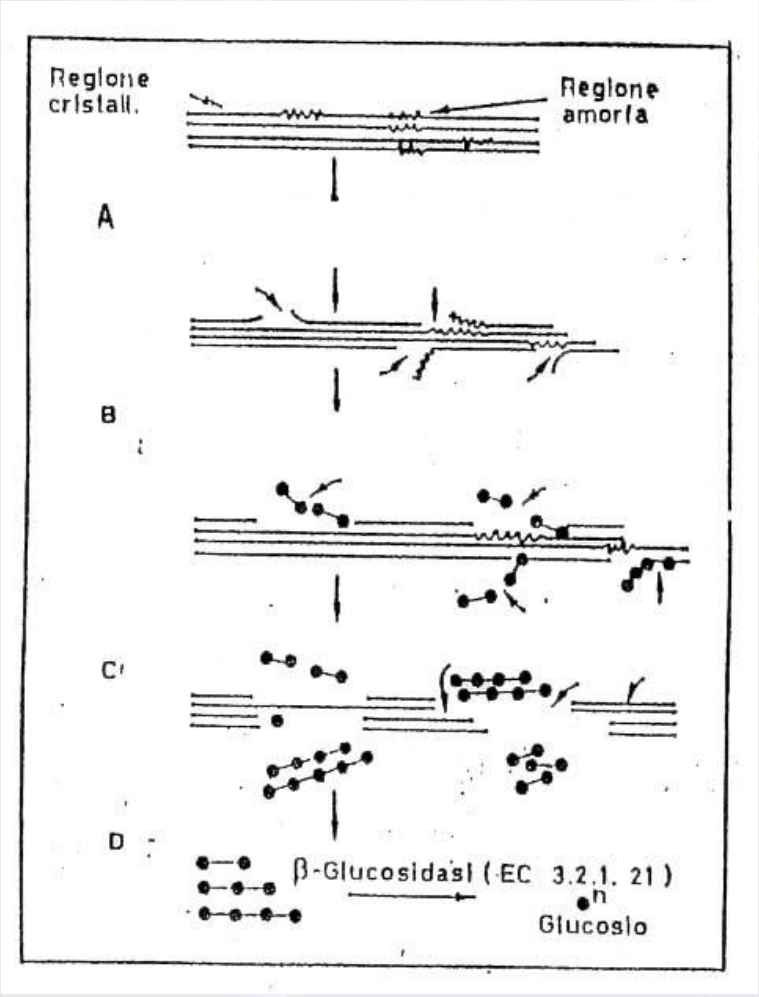
 Copyright 2008 C.E.A. Casa Editrice Ambrosiana

Degradazione della cellulosa



 Copyright 2008 C.E.A. Casa Editrice Ambrosiana

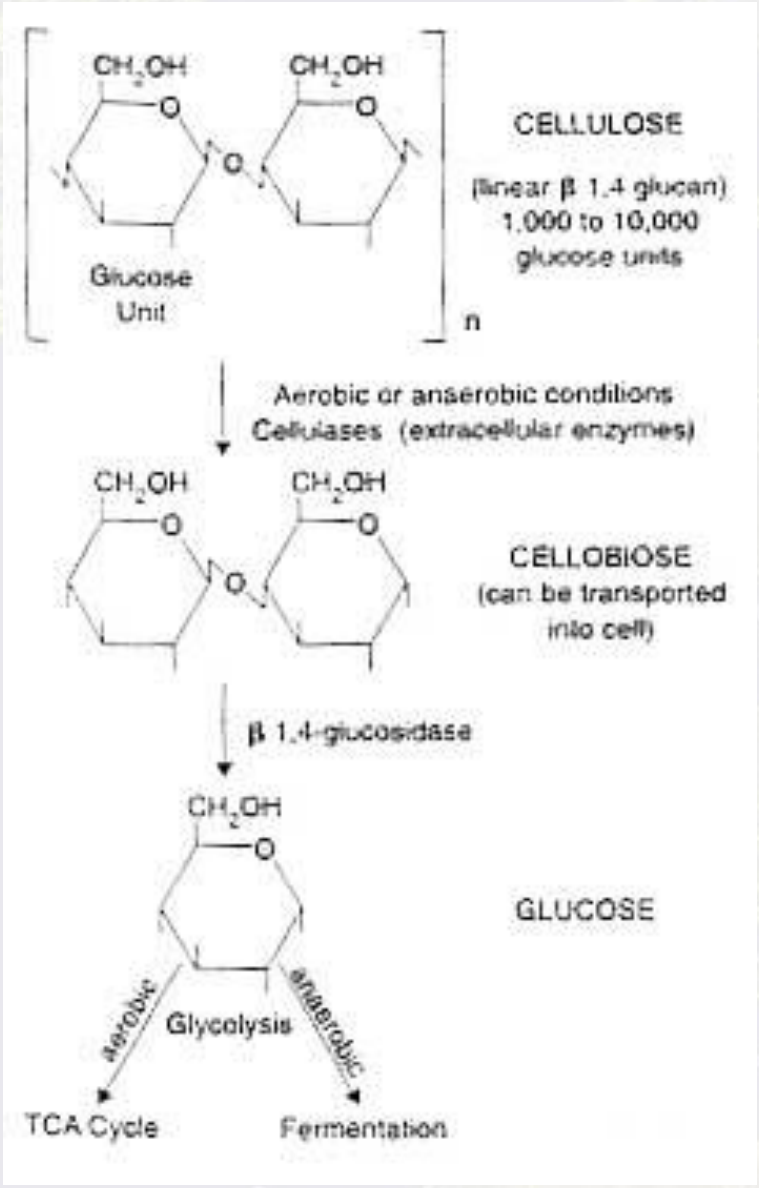
La degradazione della cellulosa è catalizzata da enzimi chiamati cellulasi



- **enzima C1**
- **enzima Cx** (β 1-4 glucanasi)

  endo β 1-4 glucanasi (origina cellobiosio e vari oligomeri)

  eso β 1-4 glucanasi (origina cellobiosio)
- **enzima β glucosidasi** (origina glucosio)


CH2OH
O
O
CH2OH
O
Glucose
Unit
n
CELLULOSE
(linear β 1,4 glucan)
1,000 to 10,000
glucose units
Aerobic or anaerobic conditions
Cellulases (extracellular enzymes)
CH2OH
O
O
CH2OH
O
CELLOBIOSE
(can be transported
into cell)
β 1,4-glucosidase
CH2OH
O
GLUCOSE
aerobic
Glycolysis
anaerobic
TCA Cycle
Fermentation

Degradazione della cellulosa

Nel suolo viene degradato da:

- **funghi:** *Aspergillus, Fusarium, Phoma* e*Trichoderma (fondamentali nei suoli acidi forestali).*
- **batteri:** *Cytophaga Polyangium, Cellulosomonas, Streptomyces* e *Nocardia*. I generi Clostridium, Ruminococcus etc. sono anaerobi
- pH< **5.5** funghi filamentosi
- pH **5.7-6.2** vari funghi e batteri appartenenti al genere *Cytophaga*
- pH> **6.7** specie di *Vibrio* e vari funghi

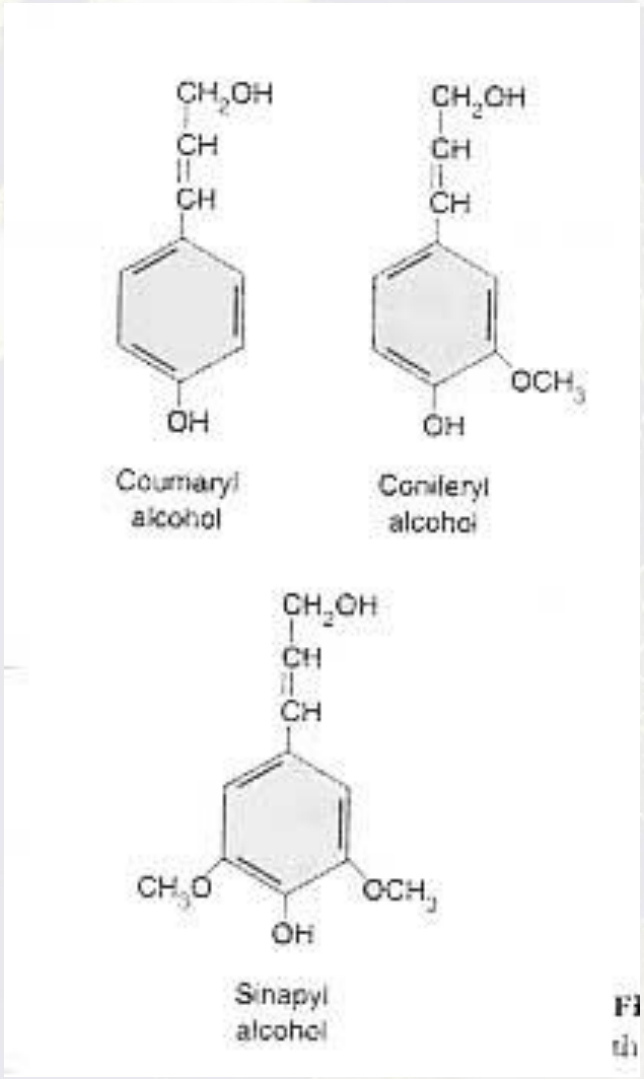
La degradazione della cellulosa avviene sia in aerobiosi che in anaerobiosi

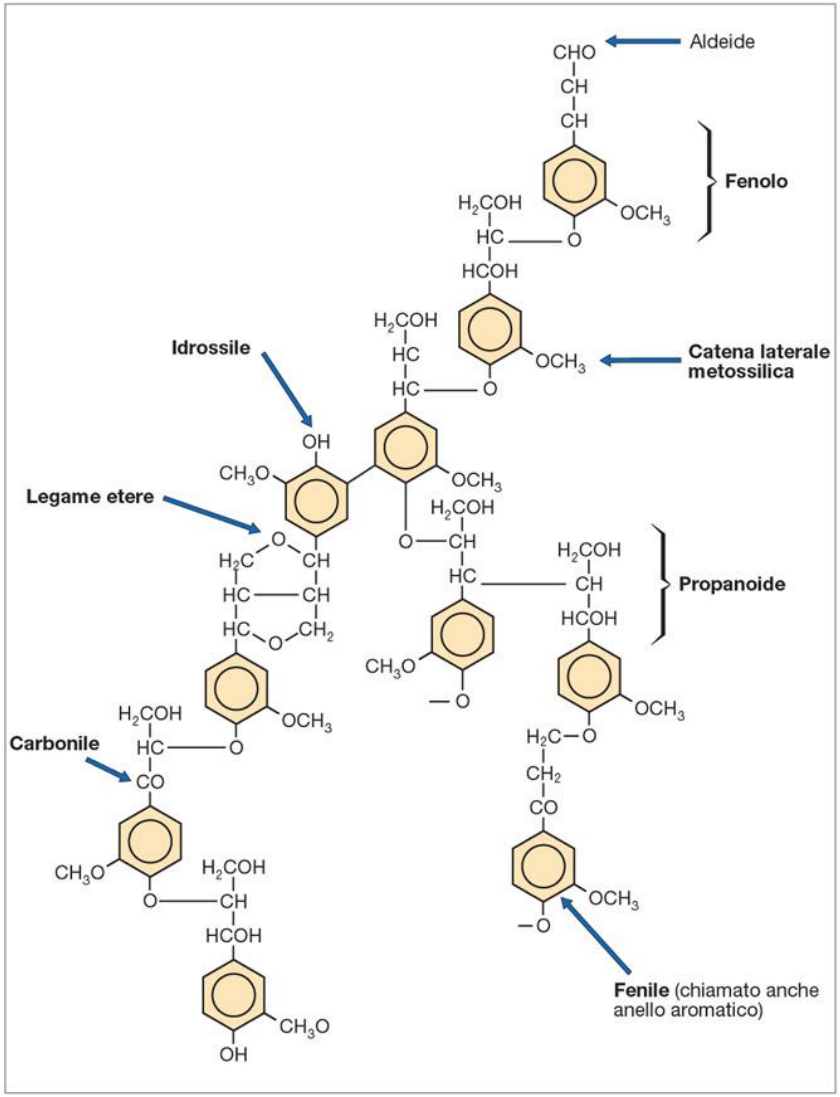
- Prodotti della degradazione in aerobiosi $\Rightarrow$ Glucosio $\Rightarrow$ CO_2, H_2O
- Prodotti della degradazione in anaerobiosi $\Rightarrow$ ac. grassi a basso peso molecolare, CO_2, H_2O (in anaerobiosi molto importanti sono i batteri appartenenti al genere *Clostridium*).

la lignina

- La lignina ha una struttura aromatica costituita da sub-unità di fenilpropano legate insieme da legami C-C o C-O-C in una complessa struttura tridimensionale.
- La biosintesi della lignina parte dalla fenilalanina, che per deaminazione, idrossilazione dell'anello aromatico, metilazione e riduzione del gruppo carbossilico da origine ai tre alcoli cinnamilici (struttura base fenilpropano) che vengono ossidati a formare la lignina .
- La sintesi della lignina è inusuale in quanto gli alcoli cinamilici sono polimerizzati da fenolossidasi che ossidano gli alcoli aromatici formando radicali liberi che spontaneamente e irreversibilmente polimerizzano per complesse reazioni
- La polimerizzazione è random, quindi la lignina e le sue sub-unità sono otticamente non attive e difficilmente degradabili.
- Il tasso di degradazione della lignina è molto più basso rispetto alla cellulosa e alle emicellolose.
- La biodegradazione della lignina è un processo altamente ossidativo e come la formazione è indiretto e random.

Unità di fenilpropano molecole base per la struttura della lignina





 Copyright 2008 C.E.A. Casa Editrice Ambrosiana

Il processo di degradazione è stato studiato nel fungo bianco *Phanerochaete chrysosporium* (basidiomicete) che produce agenti ossidanti responsabili della degradazione della lignina.

- anioni superossidi (O_2^-)
- perossido di idrogeno (H_2O_2)
- radicali idrossilici (-OH)

Tagliano i legami fra le sub-unità portando ad una graduale depolimerizzazione della lignina

prodotti finali della degradazione della lignina

⇓

fenoli, acidi aromatici e alcoli aromatici

⇓

alcuni sono mineralizzati a CO_2 e H_2O altri vanno a costituire intermedi fenolici per le sostanze umiche (ripolimerizzazione per detossificazione)

- **funghi:** *Polyporus, Fusarium, Poria, Pleorotus ecc.*
- **batteri aerobi:** *Arthrobacter, Flavobacterium, Micrococcus e Pseudomonas*

Funghi ligninosolitici

- *Funghi del marciume molle*. Il marciume molle è caratterizzato da un attacco di legno umido e la degradazione è accompagnata dalla formazione di parti molli del tessuti legnoso. I funghi del marciume molle degradano lignina e carboidrati come la cellulosa. I generi più coinvolti sono: *Humicola, Chaetonium, Paecilomyces, Alternaria.*

- *Funghi del marciume bruno.* I funghi del marciume bruno trasformano la lignina in una massa rossastroscuro. Questi funghi utilizzano cellulosa ed emicellulose. La maggiore modificazione determinata sulla lignina dall'attacco dei funghi del marciume bruno è la diminuzione del contenuto METOSSILICO (lasciano polimeri di fenilpropano come residui). Questo gruppo fungino è costituito essenzialmente da basidiomiceti, rappresentati dai generi (*Lenzites, Poria*)

- Funghi del marciume bianco. Questo gruppo costituito da funghi capaci di degradare tutti i maggiori componenti della lignina in CO_2 e H_2O. Alcuni di questi funghi attaccano all'inizio la lignina e lasciano intatta la cellulosa (*Polystictus versicolor, Phaenerochaete chrysosporium*) , altri la lignina e la cellulosa simultaneamente (*Pleurotus ostreatus, Armillaria mellea, Polyporusadustus*)

Humus
Teorie sulla formazione

Theories of Humus Formation. Several theories exist to explain soil humus formation. Those included here are in a more or less chronological order.

- Plant Alteration Theory or Waksman's Lignin-Protein Theory
  Lignin is incompletely utilized by microbes, and the residuum becomes part of the soil humus. Lignin is modified by hydroxylation and oxidation of $-OCH_3$ to $-COOH$, which react with amino compounds to yield humic acids that are oxidized to fulvic acid.

- Reducing Sugar Theory (Browning Reaction)
  Reducing sugars and amino acids are formed as by-products of microbial metabolism and undergo nonenzymatic condensation to yield humus.

- Lignin-Derived Quinone Theory (Flaig)
  Phenolic compounds released during lignin decomposition undergo enzymatic conversion to quinones (Fig. 11–18), which condense with amino compounds to yield humus.

- Microbial Synthesis Theory (Martin and Haider; Kononova)
  Polyphenols are synthesized by fungi from nonlignin carbon sources such as cellulose. The polyphenols are then enzymatically oxidized to quinones that condense with amino compounds to yield humus.

The current thinking is that the latter two theories involving polyphenols, and likely a combination of the two, is correct in aerobic soils. In poorly drained soil where peat is formed, plant alteration is likely the dominant pathway.

Adapted from Stevenson (1994). Used with permission.

WHAT IS HUMUS?[1]

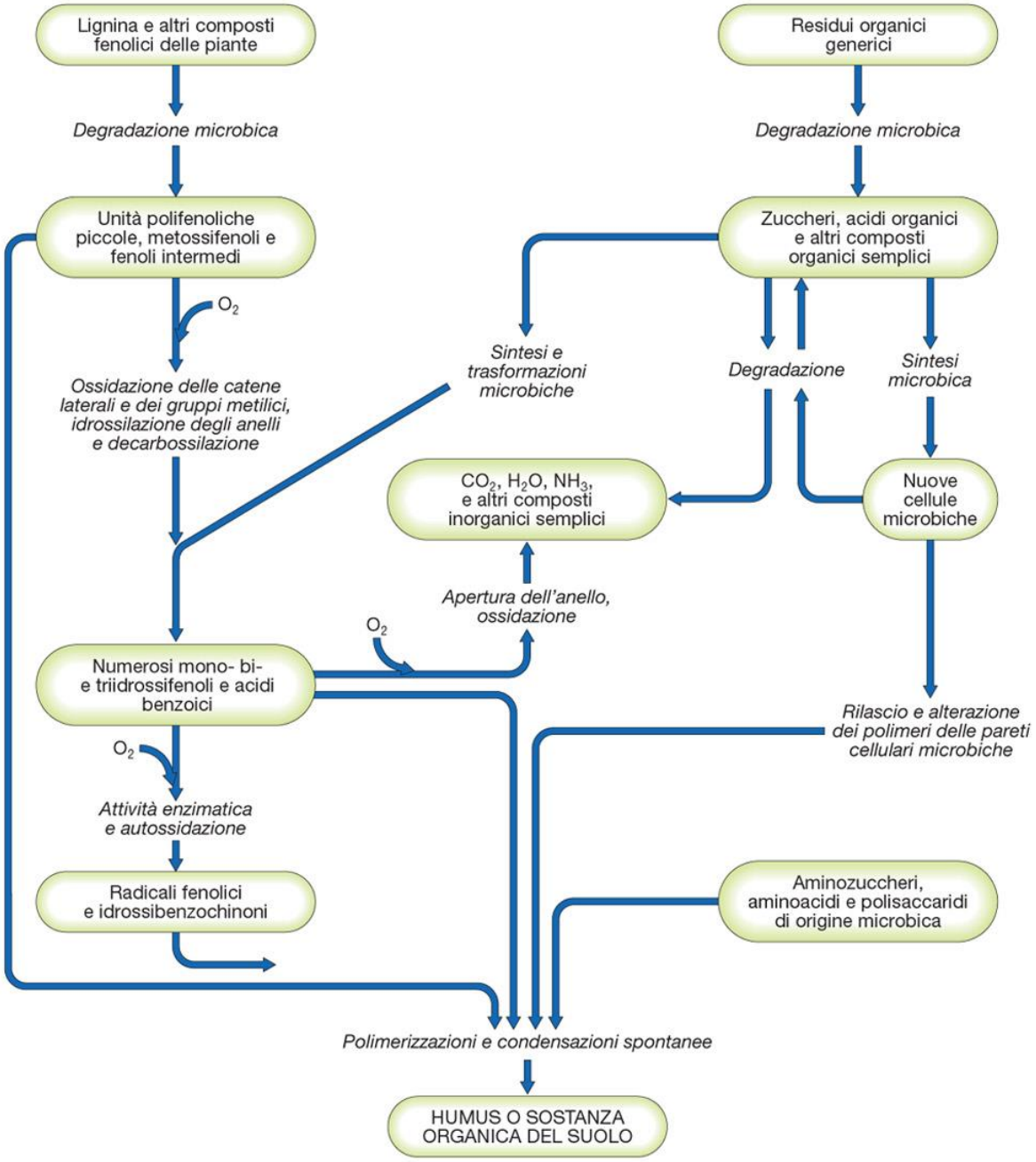
By Selman A. Waksman

New Jersey Agricultural Experiment Stations, Department of Soil Chemistry and Bacteriology

Communicated July 7, 1925

Several theories have been proposed at various times to explain the origin of the black-colored organic substances, which go to make up the bulk of the soil organic matter and which are commonly known as "humus." None of these theories, however, sufficiently explained processes involved in the formation of the complex mass of soil organic matter, to be universally accepted. The very nature of the chemical constituents of this "humus" is little understood, although an extensive literature concerning some of these constituents, namely the "humic acids," is available. A

Proceedings of the National Academy of Sciences



Copyright 2008 C.E.A. Casa Editrice Ambrosiana

Humus

Con il termine humus si identificano le sostanze amorfe organiche presenti nel suolo e che contengono sostanze difficilmente aggredibili dai microrganismi, lignina, ma anche cere, lipidi, carboidrati, componenti proteici che vengono convertiti in sostanze polimeriche non ben definite

- La formazione di humus deriva dall'azione di: protozoi, lombrichi, microrganismi
- Il contenuto di humus in un suolo è in stato di equilibrio: una parte viene continuamente apportata in seguito ai residui delle sostanze organiche e in parte viene mineralizzato.
- L'humus rappresenta la struttura organica più complessa da aggredire da parte di microrganismi. Esso è costituito da umina, acidi umici ed acidi fulvici.
- Gli acidi umici sono costituiti essenzialmente da polimeri casuali di strutture aromatiche e alifatiche. Una varietà di proteine, polisaccaridi possono legarsi alle molecole di acidi umici. Inoltre composti organici che entrano nel suolo possono associarsi agli acidi umici mediante legami come idrogeno, forze di Van der Waals, etc.
- Singoli componenti del complesso acidi umici possono essere sintetizzati biologicamente (composti aromatici o anche polisaccaridi e proteine) e rilasciate nell'ambiente sia da microrganismi che piante durante il loro normale metabolismo o al momento della loro morte

Tabella 1.1 Caratteristiche principali dei 7 tipi di Humus.

Tipo di Humus	pH	C/N	Ambiente di formazione	Decomposizione delle S.O.	Microflora dominante	Mineralizzazione dell'Humus
Mull calcico	> 7	10	Roccia madre calcarea, presenza di calcare attivo e argilla	Rapida, senza accumulo di lettiera	Batteri, attinobatteri	Lenta, causa adsormimento sulle argille e saturazione con calcio. L'Humus si accumula nel tempo
Mull forestale	5,5	12-20	Roccia madre non calcarea, foresta di latifoglie	Rapida, senza accumulo di lettiera	Funghi	Rapida, causa scarsa saturazione. L'Humus si degrada velocemente
Moder	4-5	15-25	Roccia madre silicea, foresta di latifoglie e conifere di montagna	Media	Funghi acidofili	Molto lenta
Mor	3,5-4,5	25	Roccia madre silicea, foresta di conifere degradata	Lenta, con accumulo di lettiera in superficie	Funghi acidofili	Molto difficile, causa lisciviazione dell'Humus (solubile)
Anmoor	Variabile	< 20	Ambiente temporaneamente saturo d'acqua	Lenta, con accumulo di lettiera in superficie	Batteri anaerobi	Lenta
Torba acida	3,5-4	30-40	Ambiente saturo d'acqua acida.	Molto lenta	Funghi (pochi)	Molto difficile
Torba calcica	7-7,5	15-30	Ambiente saturo d'acqua calcarea	Molto lenta	Batteri anaerobi	Molto difficile

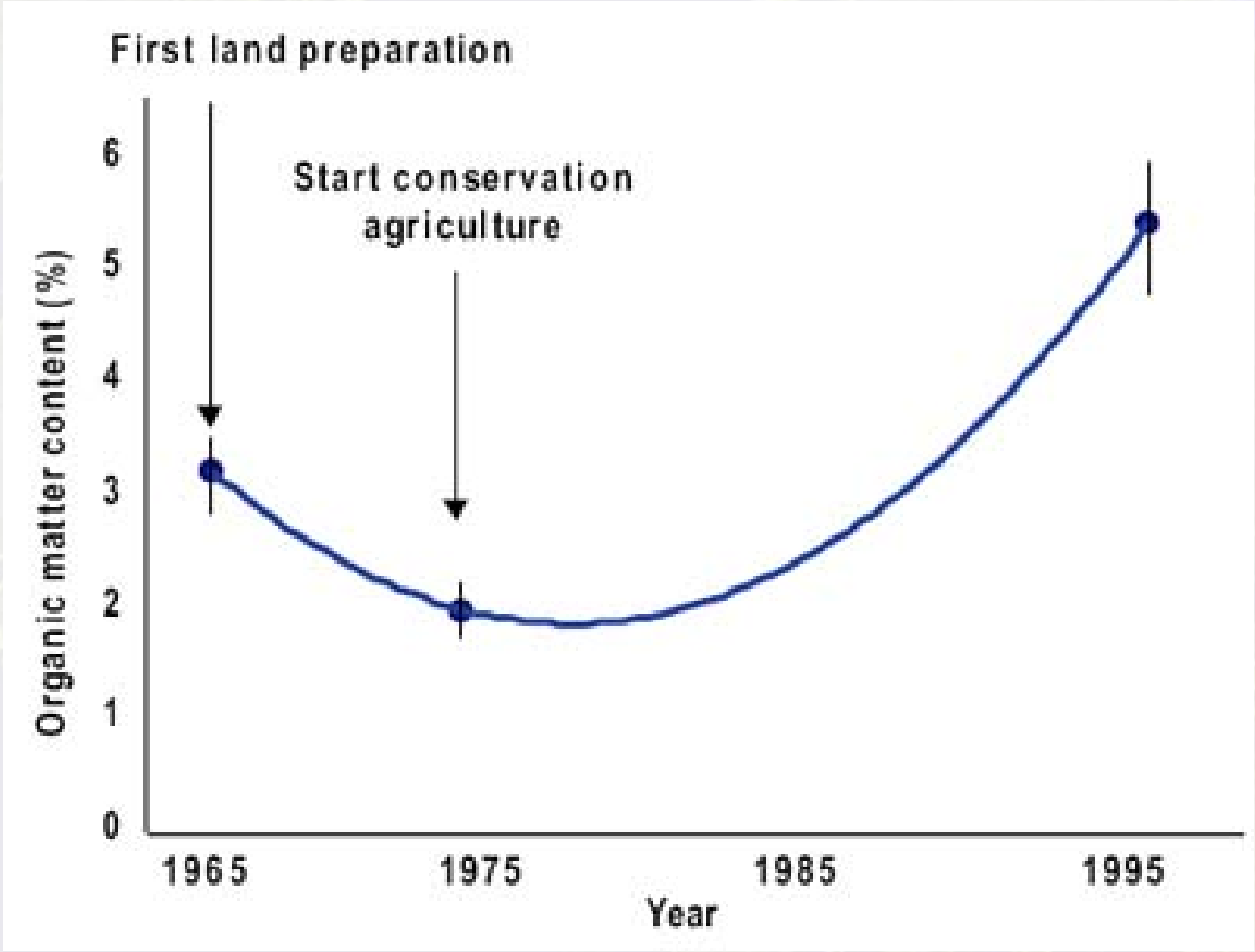
Copyright 2008 C.E.A. Casa Editrice Ambrosiana

Funzioni dell’ Humus

- **Trattiene acqua e nutrienti;**
- **Contribuisce alla creazione ed al mantenimento della struttura del suolo**
- **Essendo degradato molto lentamente costituisce una riserva di nutrienti (N & P) per i microrganismi**
- **Tampona l’effetto dei pesticidi**
- **Stoccaggio del carbonio**

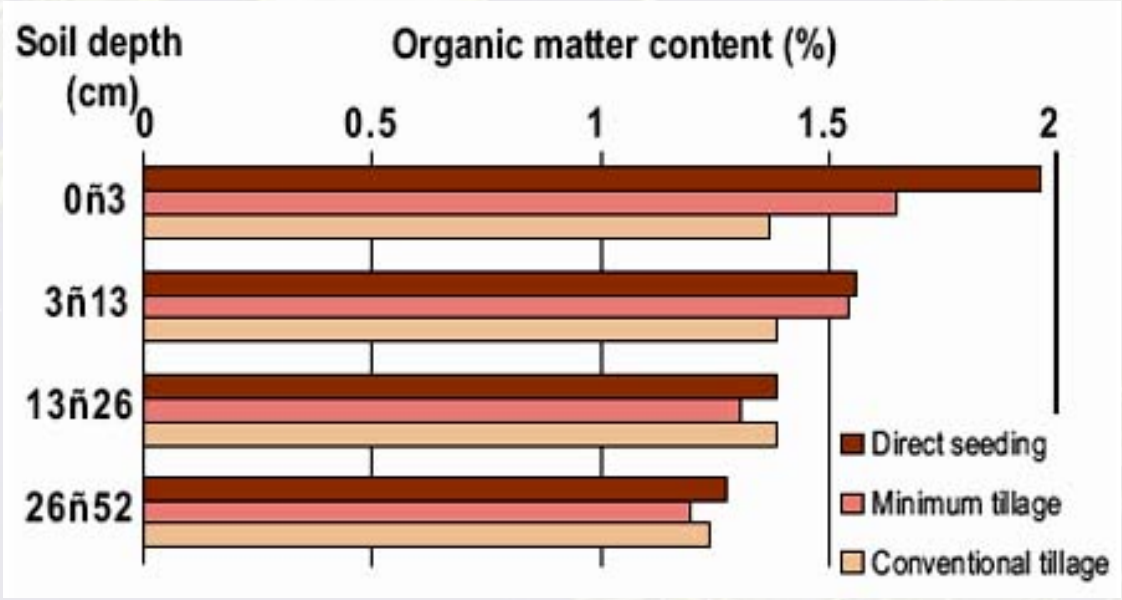
Stoccaggio del C nel suolo

1. Gestione dei suoli
2. Uso del compost
3. Applicazione del biochair
4. ……..



Determinazione del carbonio organica in un suolo in Paraná

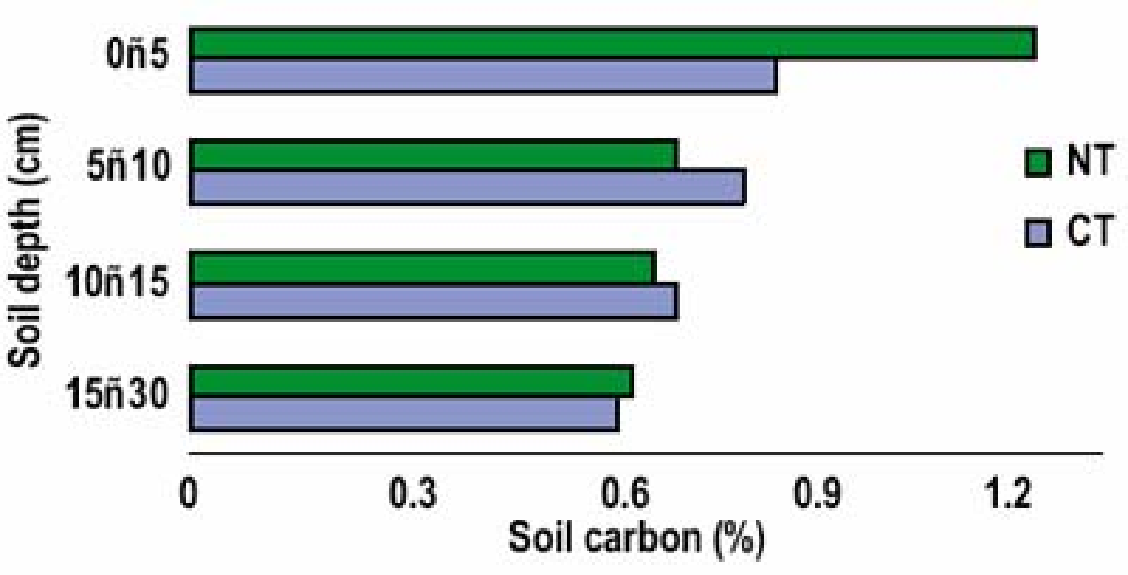
Gestione dei suoli



Organic matter content of a soil under different tillage management

www.fao.org

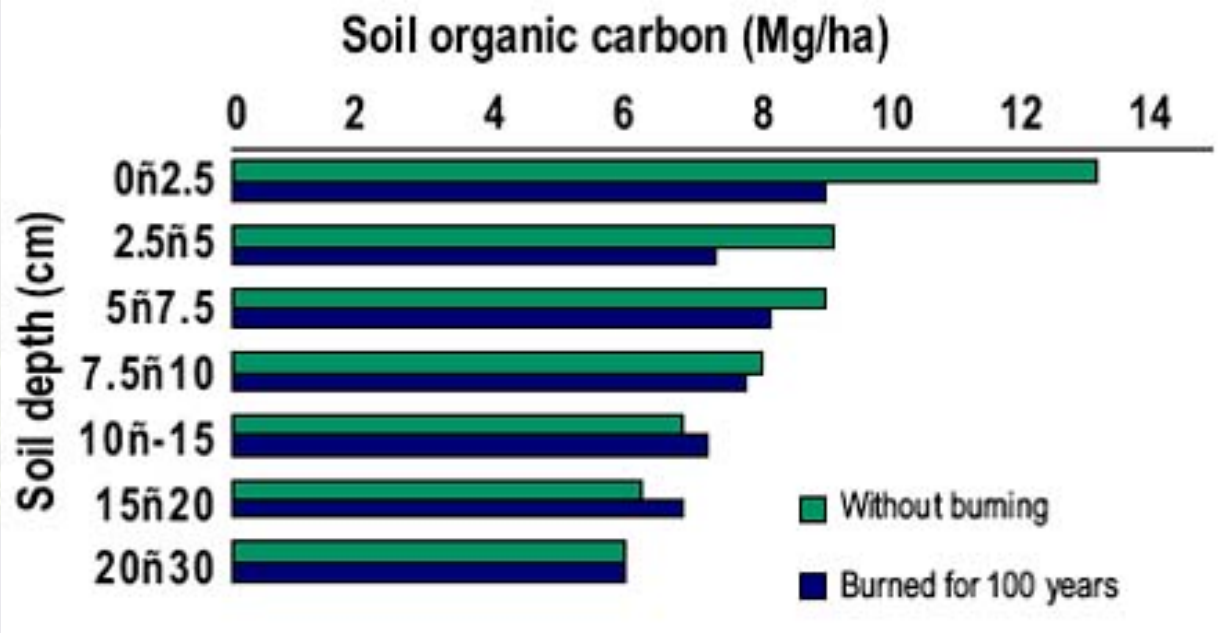
Gestione dei suoli



Soil carbon concentration at various soil depths affected by management system. Conventional (CT) and conservation (NT) agriculture, after two complete cropping cycles (4 years).
Source: Prior *et al.*, 2003.

www.fao.org

Gestione dei suoli



Effect of crop residue burning once every two years on soil carbon stock.
Source: Spagnollo, 2004.

www.fao.org

Uso del compost

Fig.1.1 - Interazione tra riciclaggio ed inquinamento dell'ambiente.
(G.Picci, G. Ferrari, 1992)

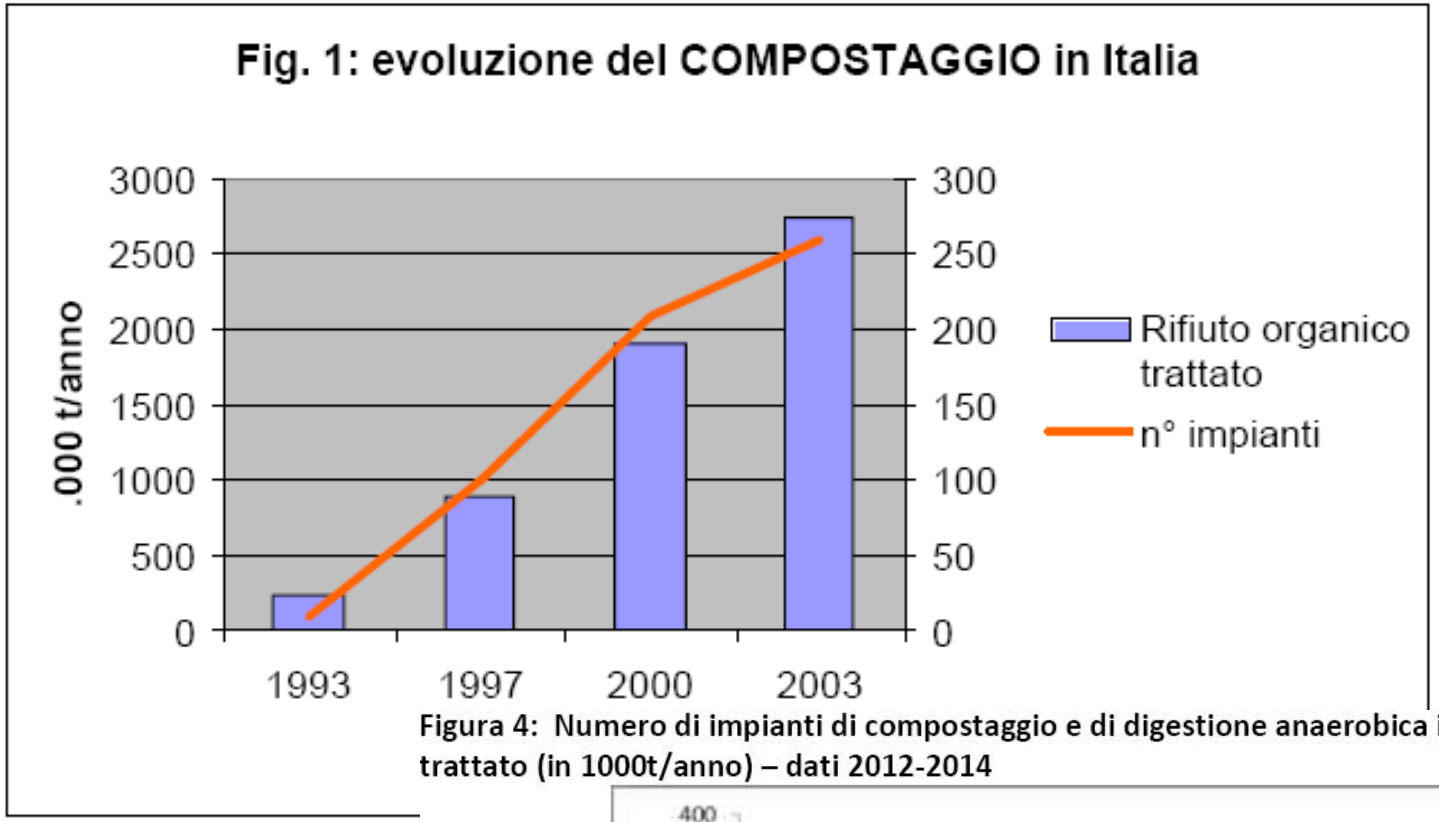
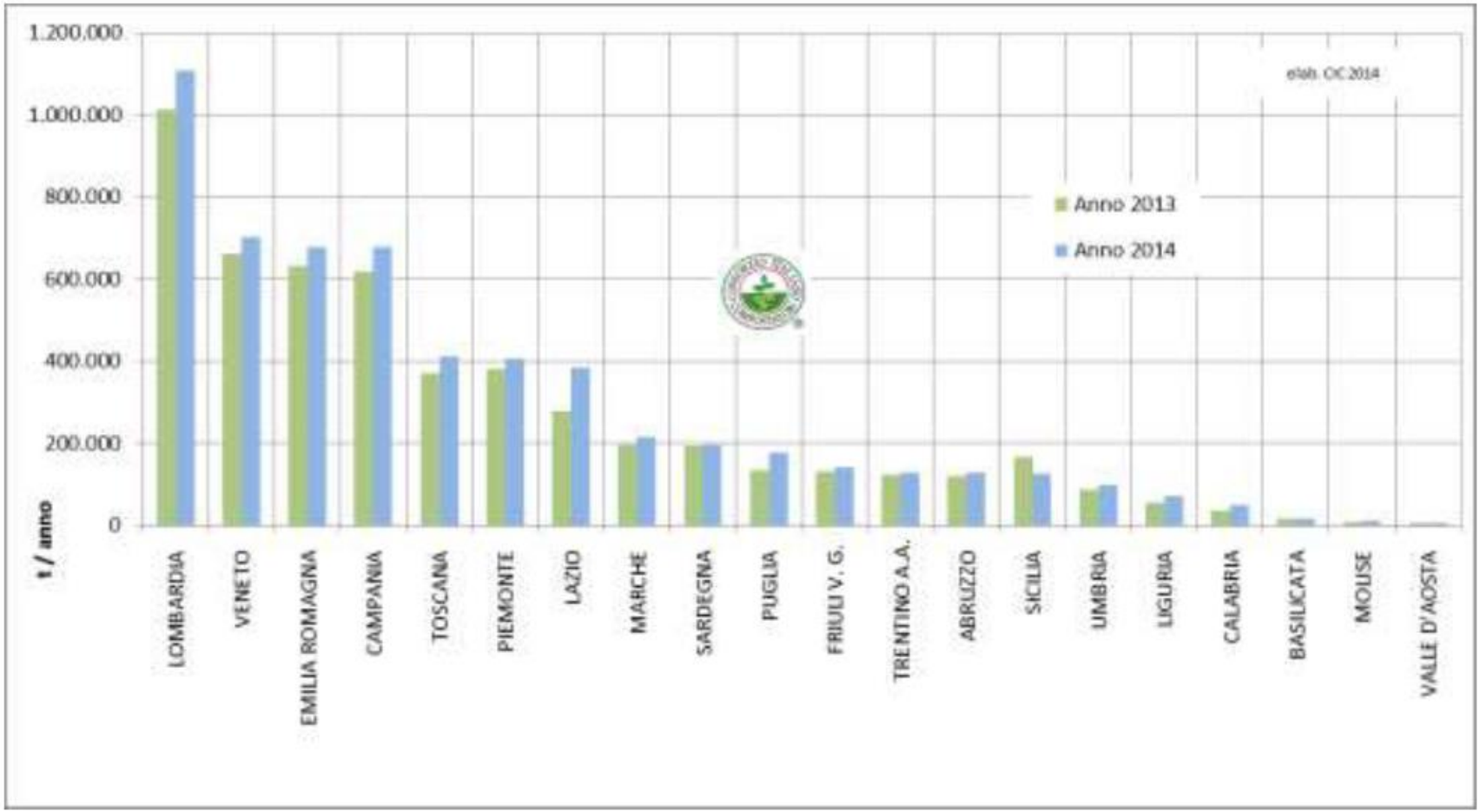


Figura 4: Numero di impianti di compostaggio e di digestione anaerobica in Italia e quantità di Rifiuto organ trattato (in 1000t/anno) – dati 2012-2014

Figura 1: Raccolta differenziata di frazione organica per Regione nel 2013 e 2014 – dati ISPRA



Rifiuti organici trattati in impianti di compostaggio in Italia 2014

www.compost.it

Definizione di compost

Prodotto ottenuto mediante processo di decomposizione e di trasformazione della sostanza organica operato da microrganismi aerobi

Compostaggio = processo di umificazione artificiale realizzato su scala agricola o industriale

Processo di umificazione: insieme dei processi di sintesi che formano composti colloidali per lo più insolubili a spese di prodotti più o meno solubili provenienti dalla decomposizione della sostanza organica

- Il *Compost* (prodotto finale del processo di compostaggio) è (dovrebbe essere) un materiale più stabile del materiale di partenza

- Processo di umificazione naturale avviene in superficie senza intervento umano (calore eventualmente prodotto dalle attività microbiche viene dissipato con facilità)

- Processo di umificazione artificiale (compostaggio) avviene generalmente in cumuli (calore prodotto da attività microbiche determina un aumento della temperatura)

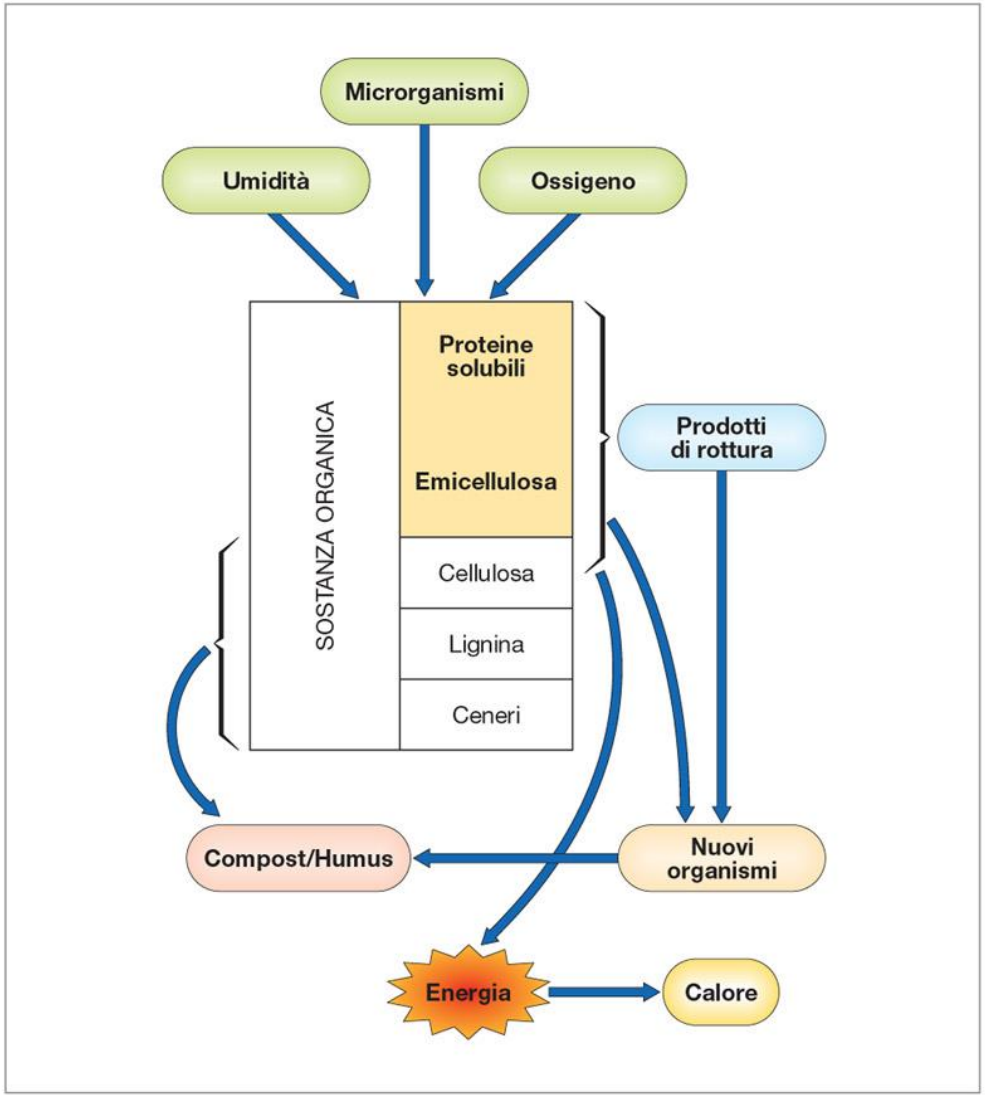
- Il compostaggio è un processo esotermico di ossidazione biologica nel quale il materiale organico è decomposto da microrganismi in un ambiente particolare, caratterizzato da alte temperature, umidità e presenza di ossigeno.

- Durante il processo la sostanza organica biodegradabile va incontro a trasformazioni chimico fisiche che danno un prodotto finale (*Humus)* stabile

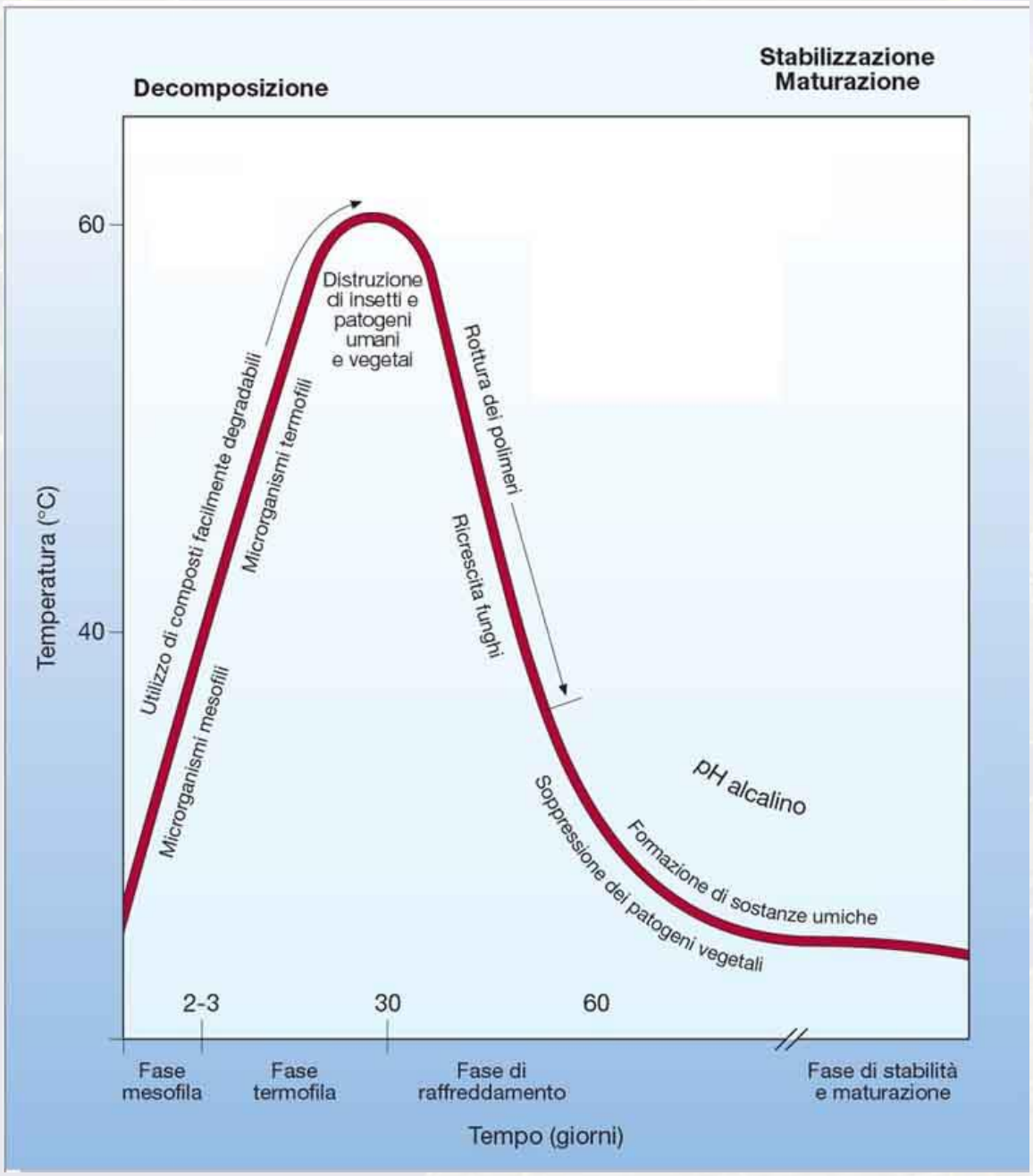
- Inoltre il prodotto finale risulta avere un valore come fertilizzante organico ammendante del suolo.

- I prodotti che possono essere impiegati nel compostaggio sono vari e possono essere miscelati a composti organici e inorganici.
- Fra i più utilizzati ricordiamo:
  - *Rifiuti urbani (*composizione variabile)
  - *scarti di fattoria*
  - *paglie e altri scarti di cerali,*
  - *fanghi di depurazione,*
  - *ecc.*

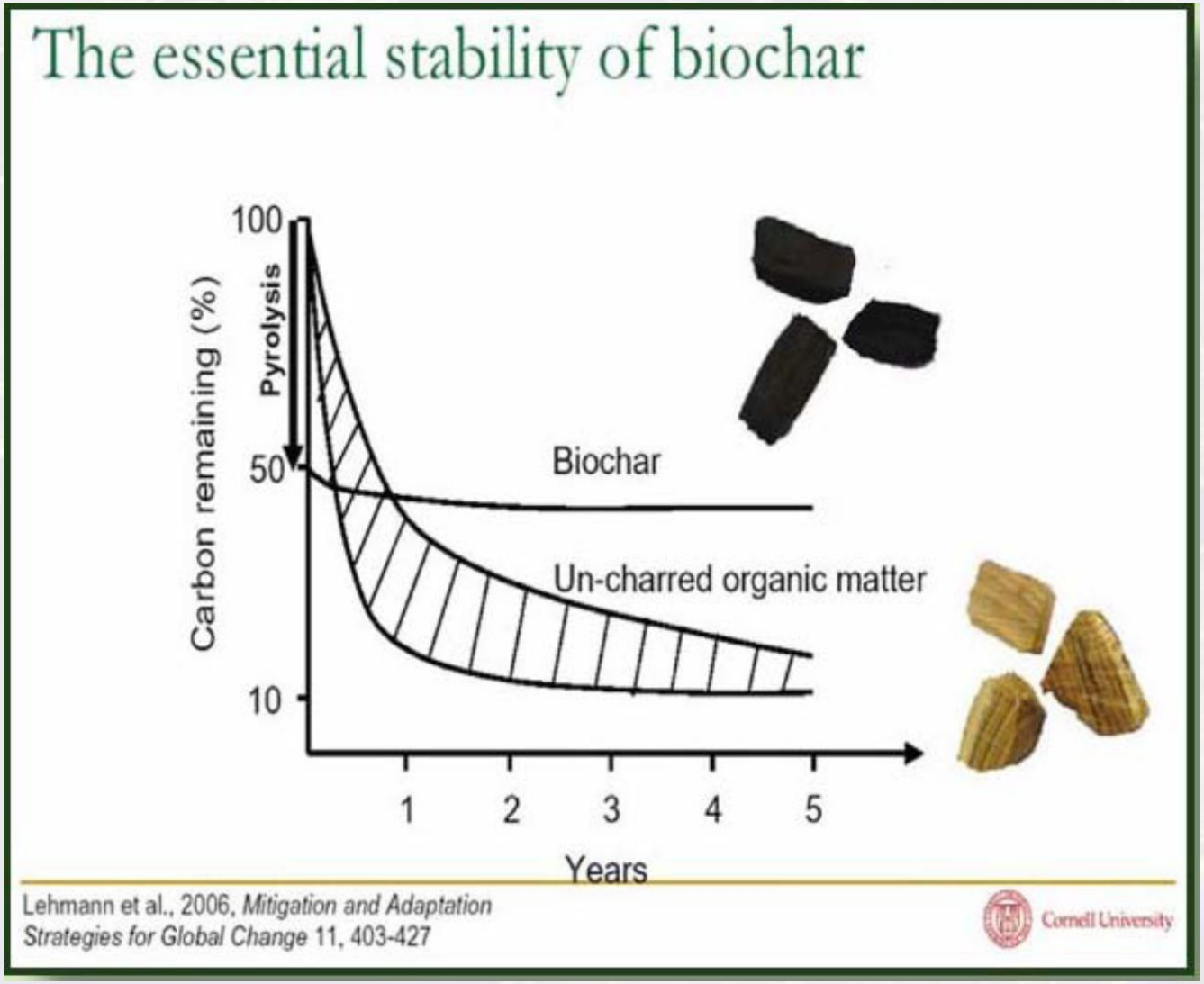
- Il processo può essere considerato come una completa serie di interazioni fra il rifiuto organico, microrganismi , umidità e ossigeno.
- Il processo di degradazione della sostanza organica avviene in natura molto lentamente.
- Questo processo può essere accelerato ammassando in cumuli il materiale di scarto in modo che si mantenga di più il calore sviluppato dai processi metabolici; che a loro volta , sono accelerati dall'innalzamento della temperatura.
- Il prodotto finale *il compost* è costituito da residui organici più resistenti alle degradazioni del materiale organico di partenza -dalla biomassa dei microrganismi morti o vivi e dai prodotti di ulteriori reazioni chimiche.

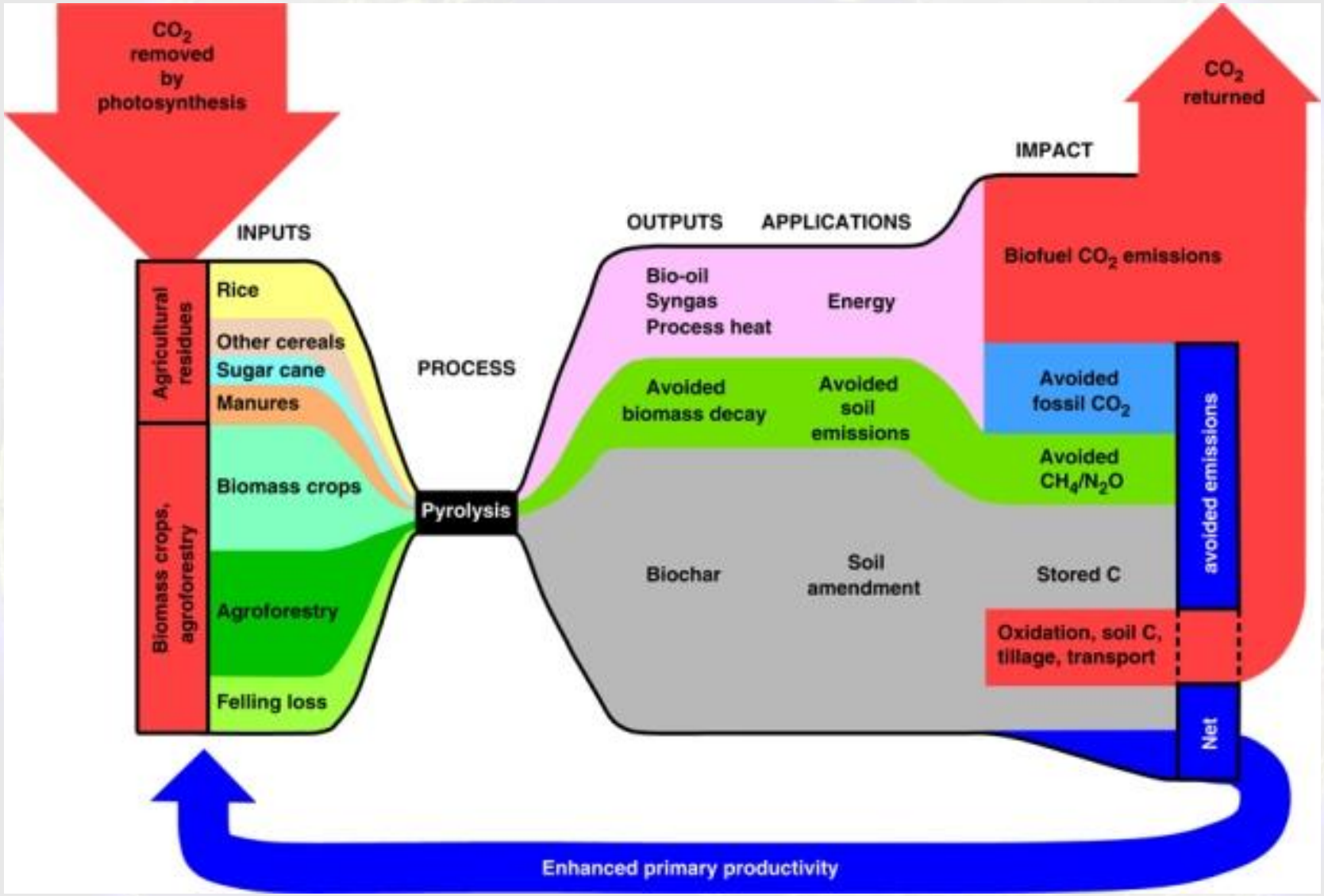


 Copyright 2008 C.E.A. Casa Editrice Ambrosiana

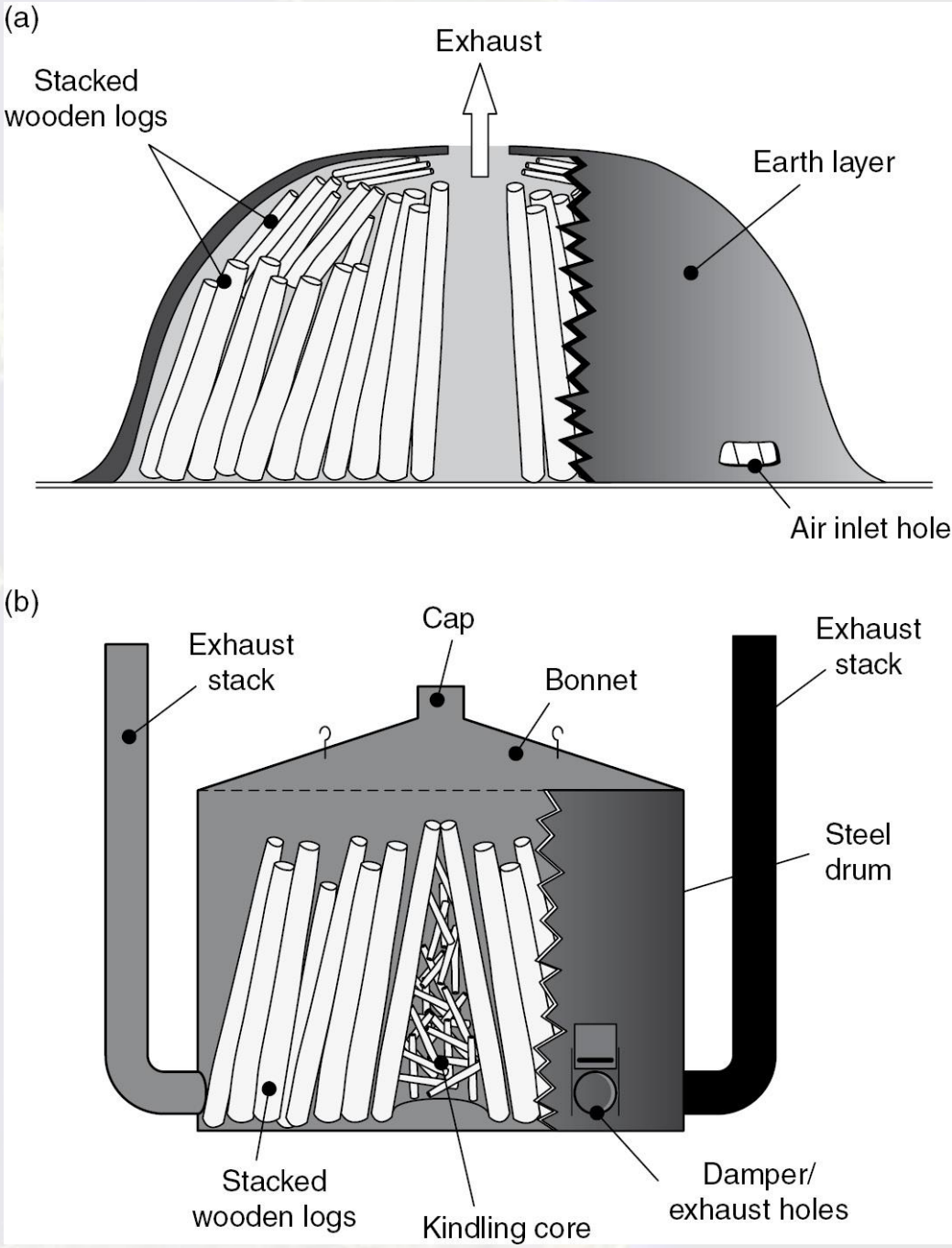

Decomposizione
Stabilizzazione
Maturazione
60
40
Temperatura (°C)
Utilizzo di composti facilmente degradabili
Microrganismi mesofili
Microrganismi termofili
Distruzione di insetti e patogeni umani e vegetali
Rottura dei polimeri
Ricrescita funghi
pH alcalino
Soppressione dei patogeni vegetali
Formazione di sostanze umiche
2-3
30
60
Fase mesofila
Fase termofila
Fase di raffreddamento
Fase di stabilità e maturazione
Tempo (giorni)

Uso del biochar




CO_2 removed by photosynthesis
INPUTS
Agricultural residues
Rice
Other cereals
Sugar cane
Manures
Biomass crops, agroforestry
Biomass crops
Agroforestry
Felling loss
PROCESS
Pyrolysis
OUTPUTS
APPLICATIONS
IMPACT
Bio-oil
Syngas
Process heat
Energy
Biofuel CO_2 emissions
Avoided biomass decay
Avoided soil emissions
Avoided fossil CO_2
Avoided CH_4/N_2O
avoided emissions
Biochar
Soil amendment
Stored C
Oxidation, soil C, tillage, transport
Net
CO_2 returned
Enhanced primary productivity

Produzione di Biochar



Ruolo del biochar

1) modifica la chimica del suolo attraverso la sua composizione in elementi;
2) fornisce una superficie chimicamente attiva, capace di modificare la dinamica dei nutrienti nel suolo e di catalizzare reazioni utili;
3) modifica le caratteristiche fisiche del suolo, con benefici per la crescita radicale e favorendo
4) Permette lo stoccaggio per centinaia di anni del carbonio nel suolo.