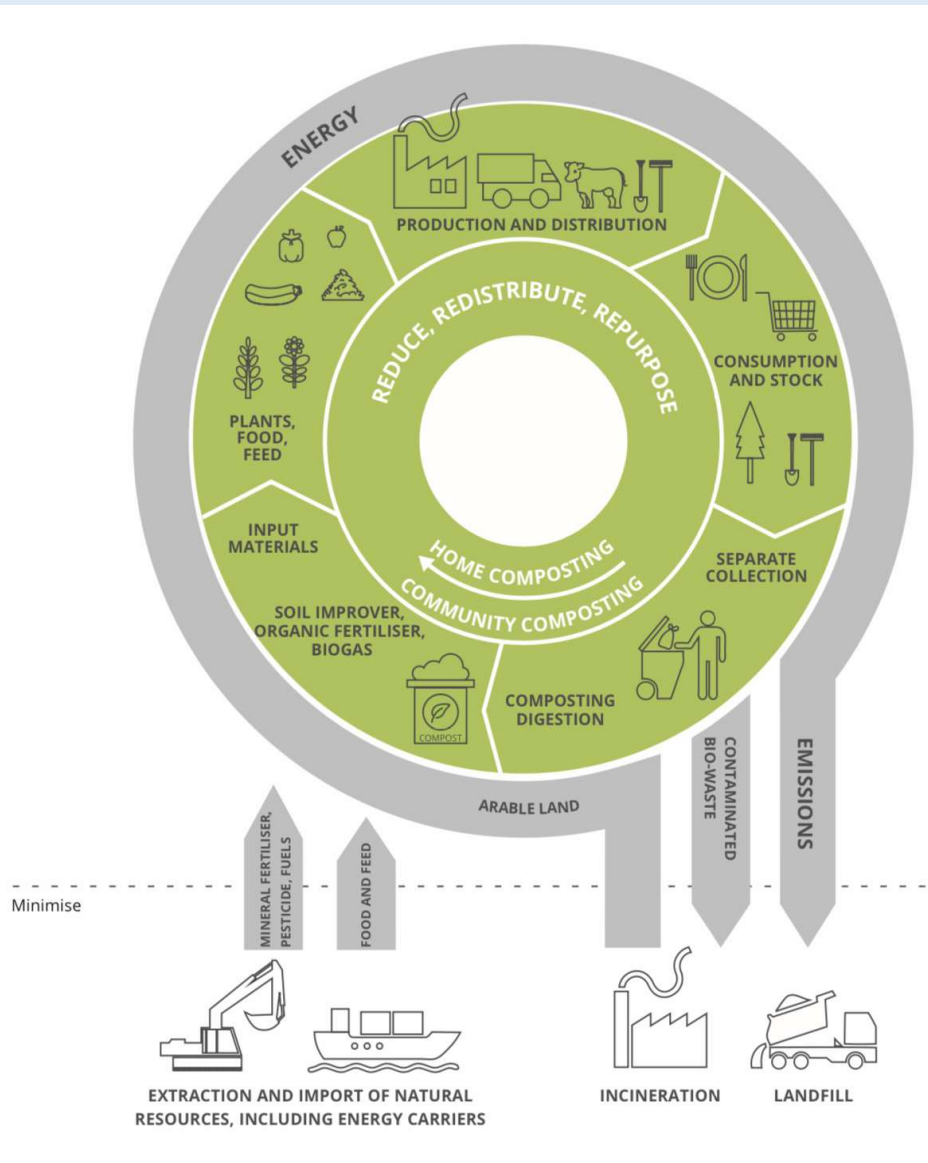


I rifiuti organici in un'ottica di economia circolare

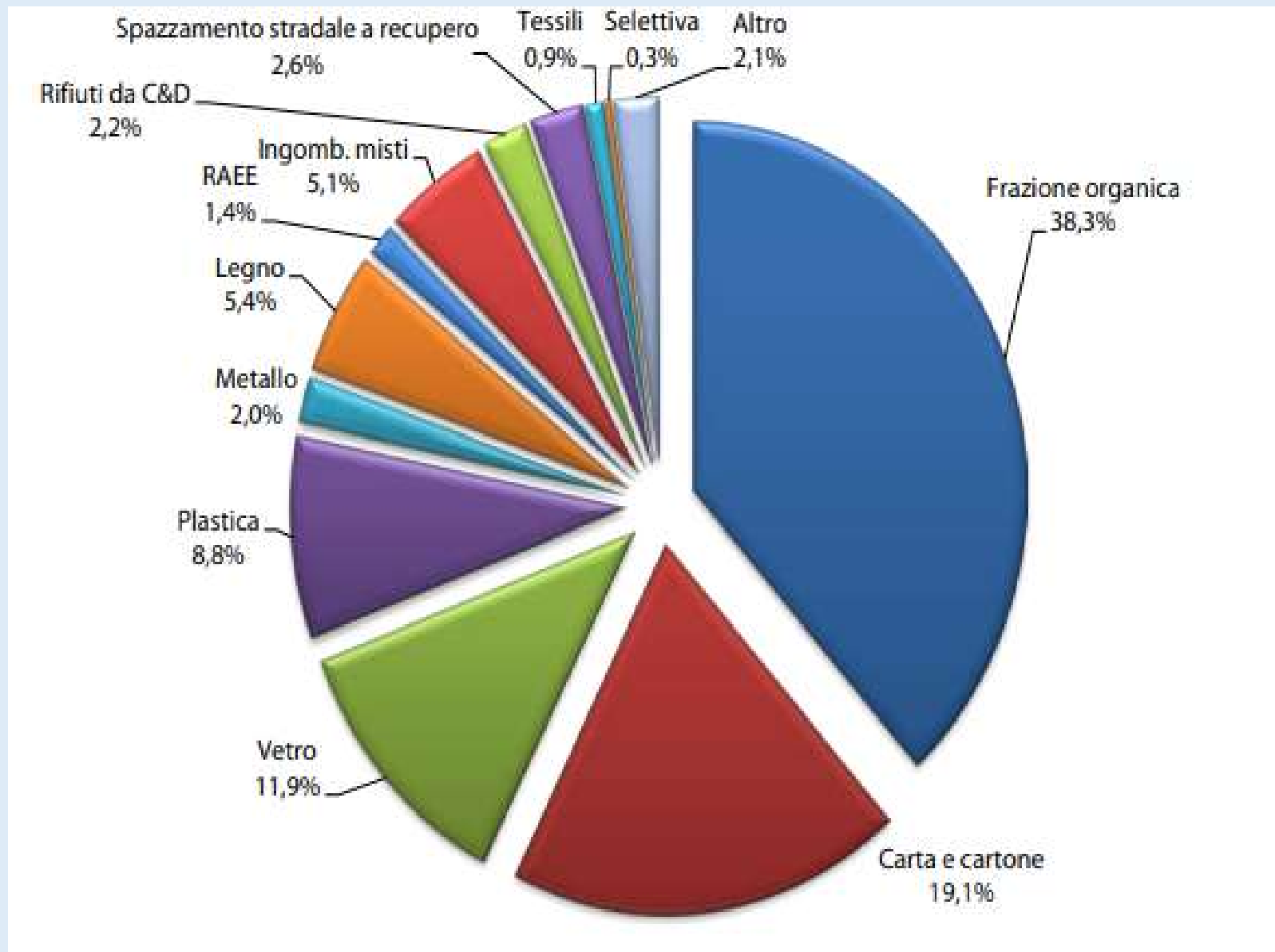
Elisa Anna Fano



I rifiuti urbani

Cosa si raccoglie fra i rifiuti urbani

(https://www.isprambiente.gov.it/files2024/pubblicazioni/rapporti/rapporiorifiutiurbani_ed-2024_n407_versionedati-di-sintesi-it.pdf)

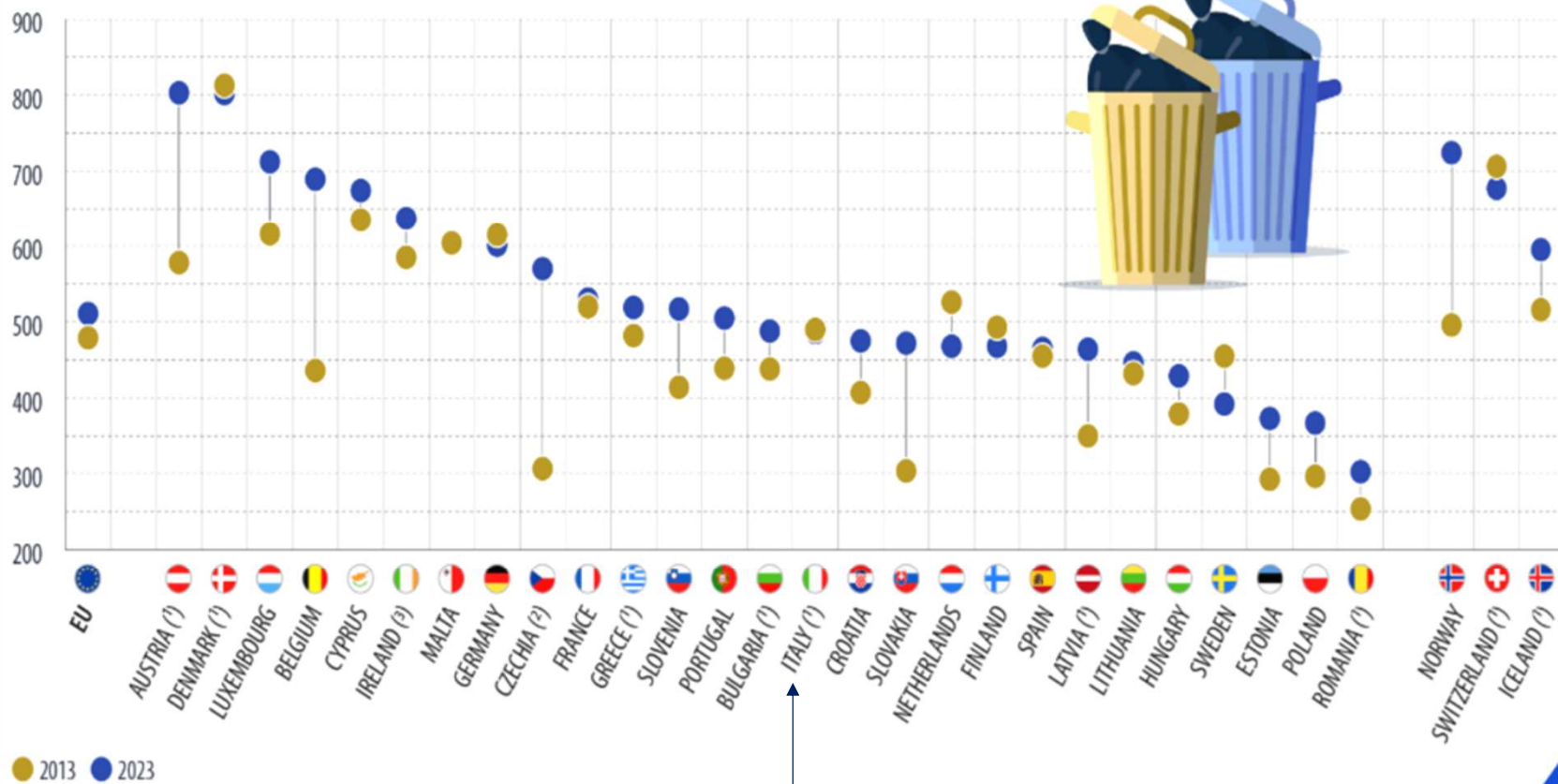


Il confronto fra produzione di rifiuti urbani nel 2013 e nel 2023 in Europa

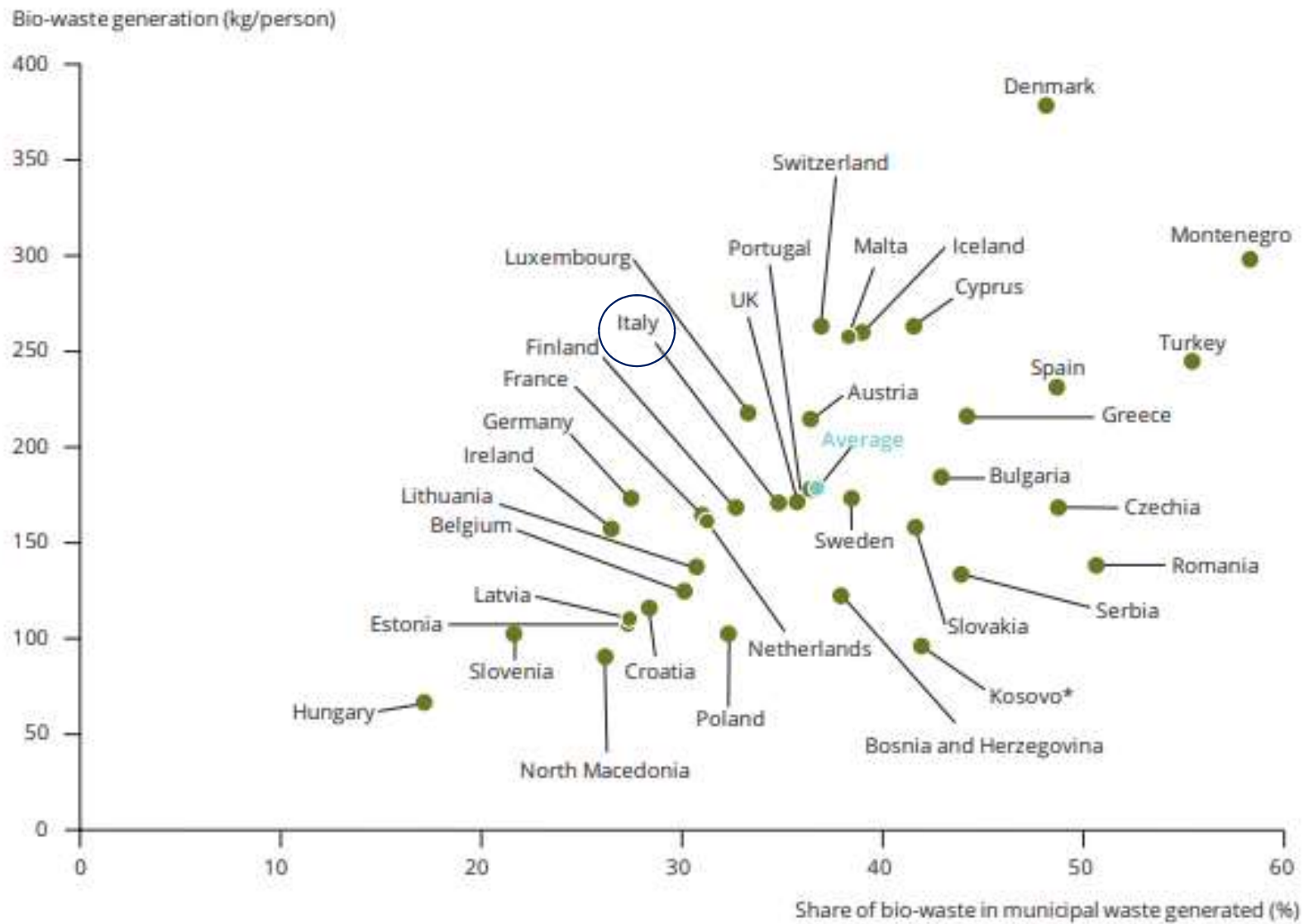
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/overview>

Municipal waste generated, 2013 and 2023

(kg per capita)

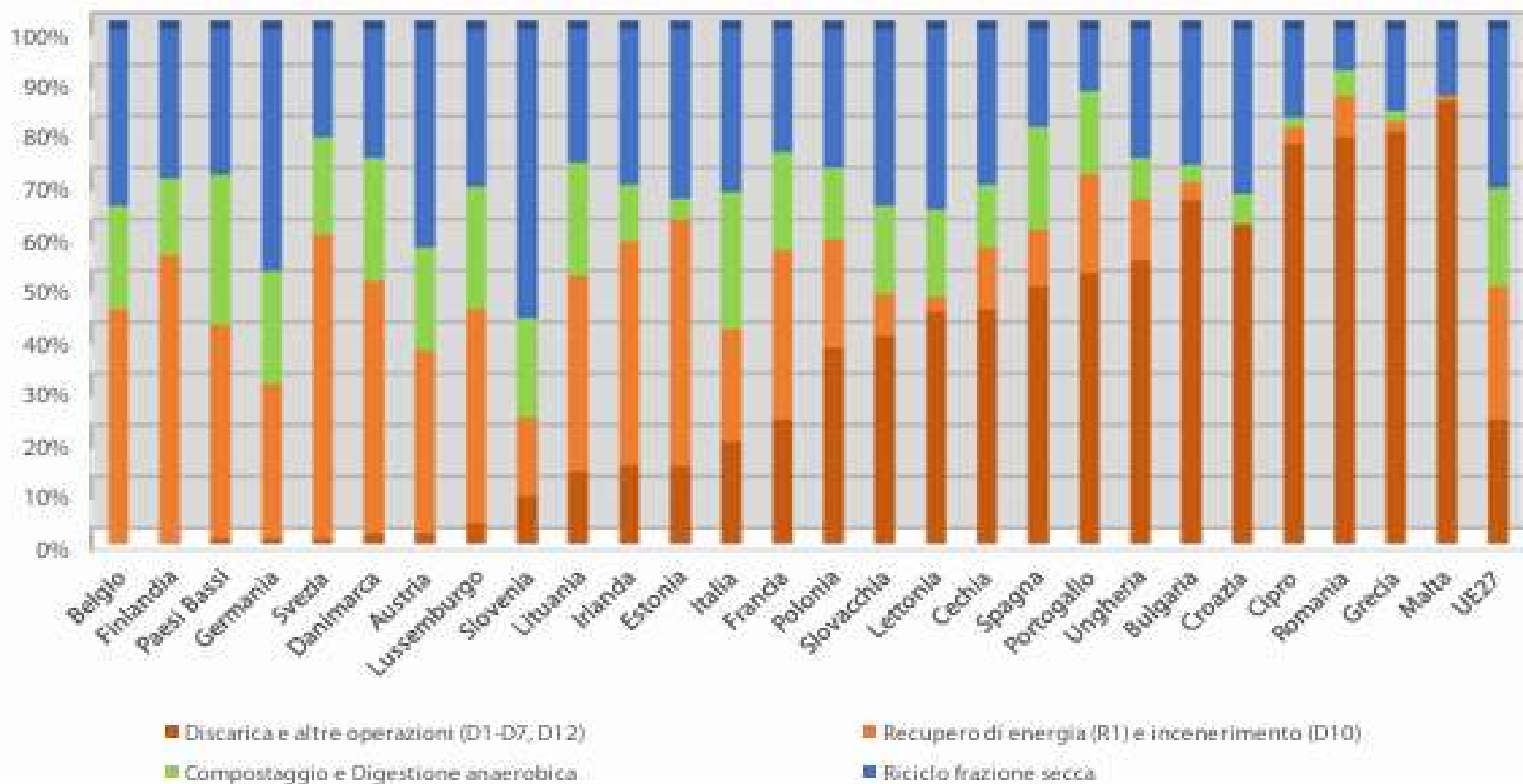


(*) 2022 data instead of 2023. (*) 2021 data instead of 2023. (*) 2020 data instead of 2023 and 2012 instead of 2013.



Quanti rifiuti si producono a persona in Europa? Noi siamo leggermente inferiori alla media europea

<https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/waste-and-recycling>



Il destino dei rifiuti urbani (RU) in Europa nel 2022 (Fonte Eurostat)

La frazione organica dei rifiuti

La Frazione Organica dei Rifiuti Urbani è la parte costituita da materiali di origine organica dei rifiuti ed è composta da:

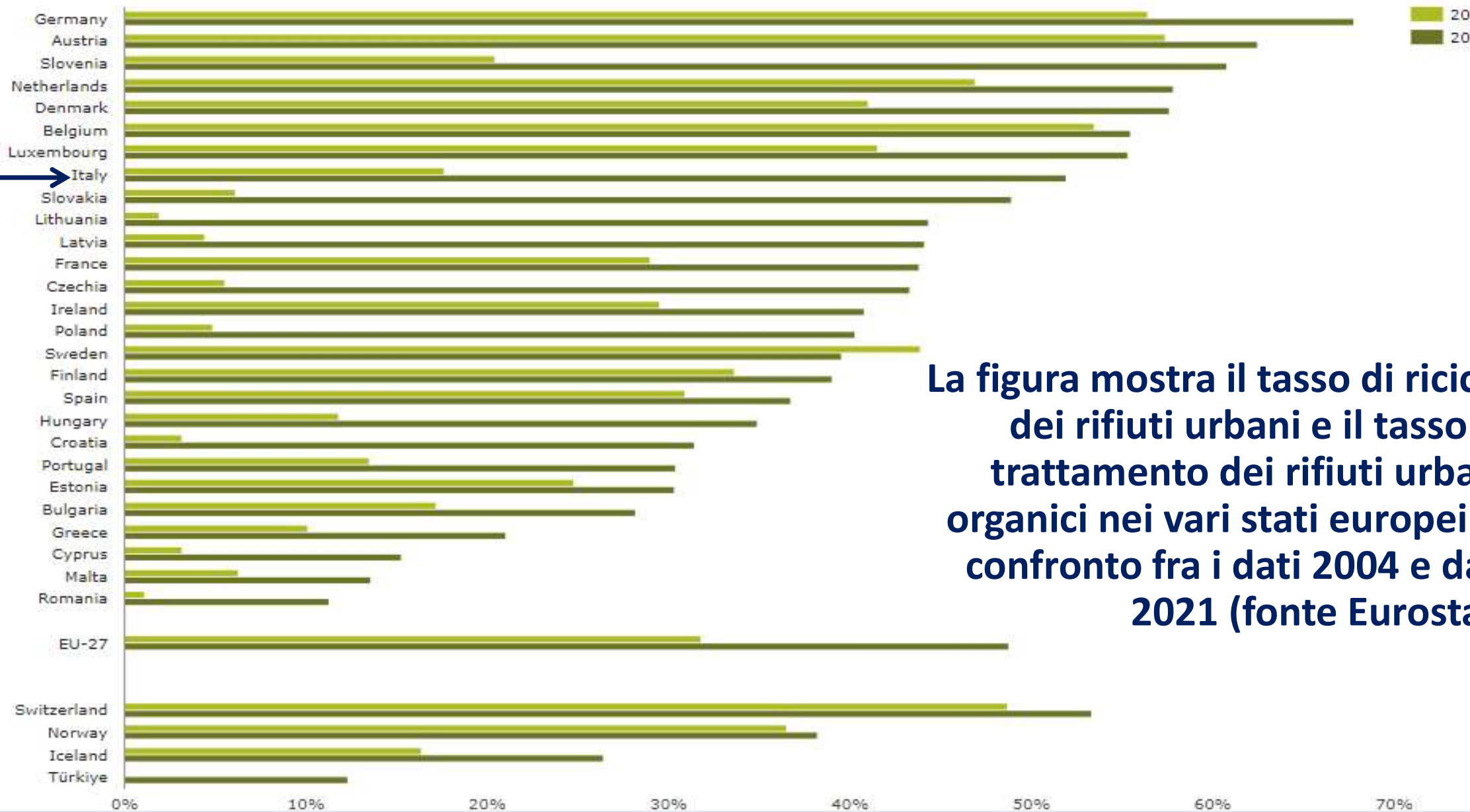
- umido ovvero dai rifiuti organici provenienti dalle cucine e dalle mense,
- rifiuti biodegradabili provenienti dalla manutenzione di giardini, parchi pubblici e privati ed aree verdi urbane,
- rifiuti avviati al compostaggio domestico,
- rifiuti provenienti dai mercati.

Benefici della raccolta differenziata e della trasformazione dei rifiuti organici

La frazione organica rappresenta oltre il 34% (Bio-waste in Europe, https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/biodegradable-waste_en) dei rifiuti urbani raccolti in Europa: una componente importante che se ben gestita ha elevate potenzialità con benefici sia a livello ambientale che economico e sociale. La filiera della raccolta e trasformazione della frazione organica è:

- flessibile in quanto può essere trattata sia a livello industriale che a livello di comunità;**
- genera benefici ambientali (riduzione dei rifiuti da smaltire in discarica, produzione di biogas che è energia rinnovabile, produzione di compost utilizzabile come fertilizzante in agricoltura e come coadiuvante per riparare suoli degradati contribuendo a mitigare il fenomeno di desertificazione);**
- genera benefici sociali: creazione di posti di lavoro nella filiera.**

Nell'Unione Europea la raccolta differenzia della frazione organica è obbligatoria a partire dalla fine del 2023 (Direttiva 2018/851), obbligo anticipato al 31 dicembre 2022 in Italia con l'approvazione del D.lgs. 11/20) tuttavia da diversi anni l'Unione è promotrice e finanziatrice di progetti per favorire l'innovazione dei trattamenti e delle filiere di raccolta trasformazione di questi rifiuti.



La figura mostra il tasso di riciclo dei rifiuti urbani e il tasso di trattamento dei rifiuti urbani organici nei vari stati europei in confronto fra i dati 2004 e da 2021 (fonte Eurostat)

E nel 2024... secondo il report de «Il Riciclo in Italia»

<https://www.ricicloinitalia.it/rapporto-2024/>

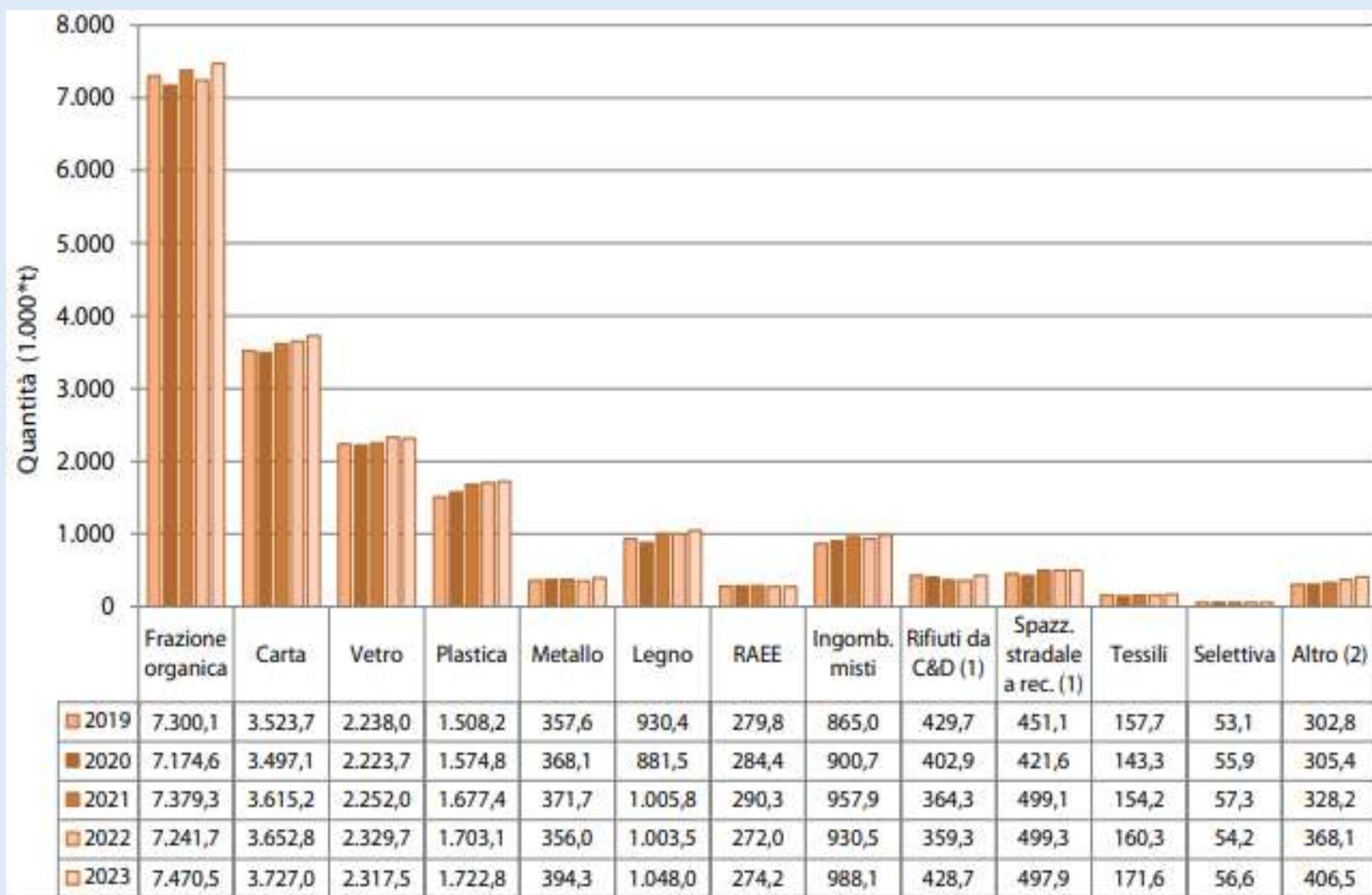
L'Italia è leader in Europa per il riciclo dei rifiuti, con un tasso del 85,6% nel 2024. Questo significa che 137 milioni di tonnellate di rifiuti, inclusi quelli urbani, speciali e inerti, sono stati riciclati. L'Italia supera nettamente la media UE del 40,8%, posizionandosi al primo posto nella classifica dei paesi europei che riciclano di più.



Vediamo quindi la situazione in Italia



Raccolta differenziata per frazione merceologica, anni 2019 – 2023 (dati ISPRA)



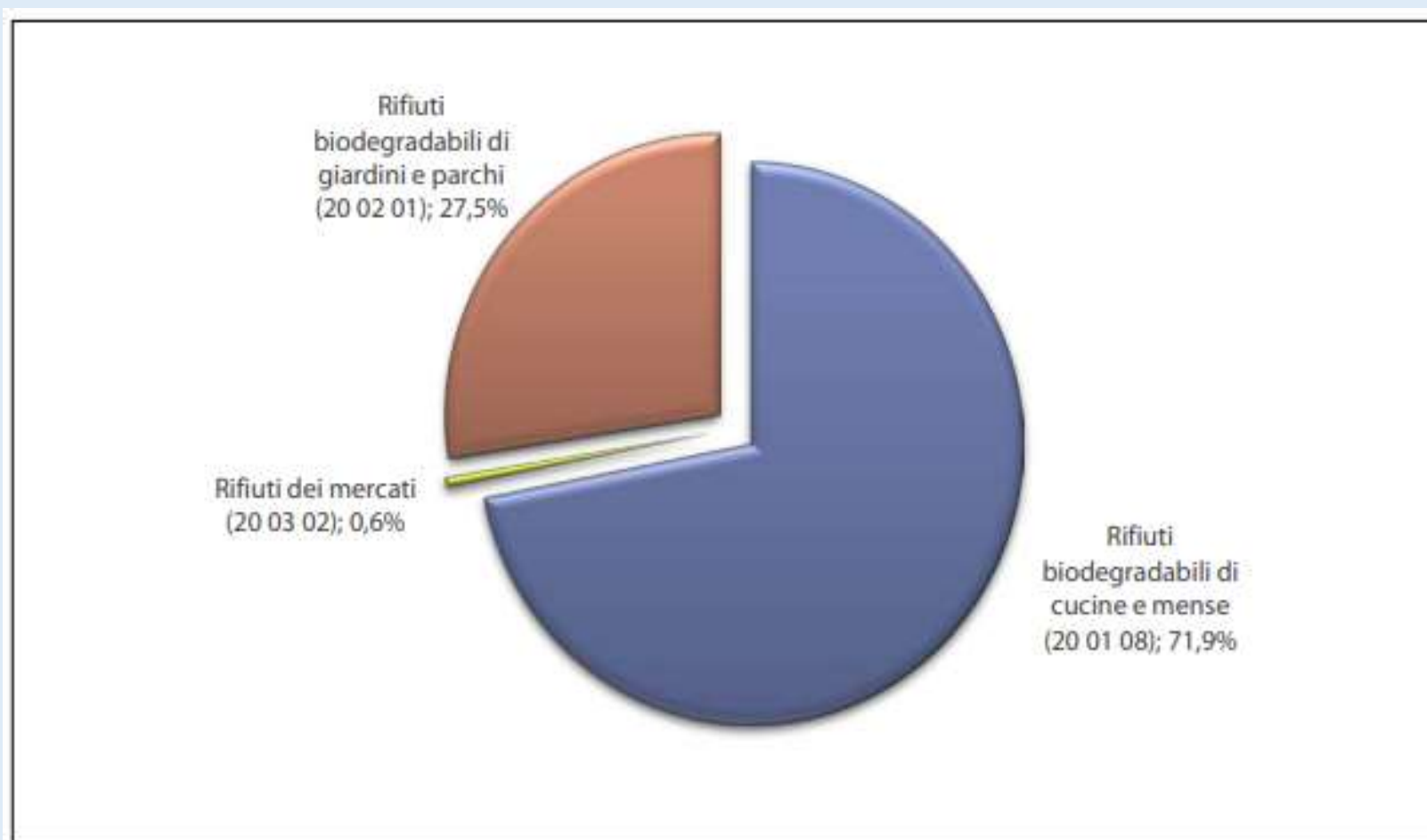
Composizione merceologica dei rifiuti urbani stimata da ISPRA (media periodo 2009 - 2022*), suddivisa per zona geografica

Frazione merceologica	Nord	Centro	Sud	Italia
	(%)			
Frazione organica (umido + verde)	34,0	30,5	38,9	34,7
Carta e cartone	21,4	24,3	20,6	21,8
Plastica	11,9	14,5	13,0	12,8
Metalli	2,4	2,5	2,3	2,4
Vetro	9,6	6,9	7,4	8,3
Legno	4,9	2,8	1,9	3,5
RAEE	-	-	-	1,0
Tessili	-	-	-	4,3
Materiali inerti/spazzamento	-	-	-	0,7
Selettiva	-	-	-	0,3
Pannolini/materiali assorbenti	-	-	-	4,6
Altro	-	-	-	5,4
	Totale			100,0

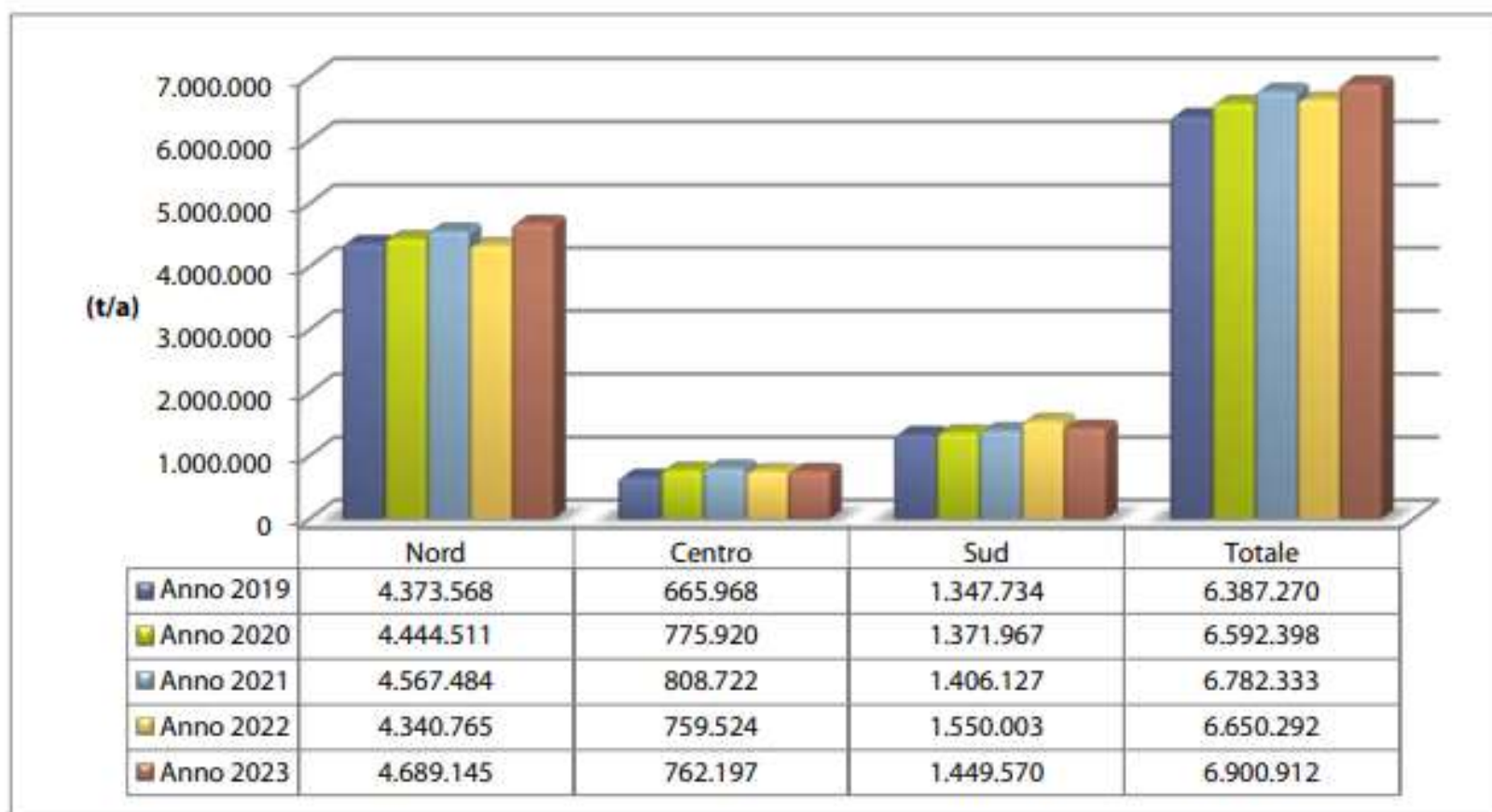
**ultimo anno per il quale si dispone di dati sulle analisi merceologiche*

Fonte: stime ISPRA

Origine dei rifiuti organici avviati ai trattamenti nel 2023



Trattamento della frazione organica da raccolta differenziata, per macroarea geografica, anni 2019 – 2023



Fonte: ISPRA

Sistemi di trattamento dei rifiuti organici

Tre sono i sistemi attualmente maggiormente diffusi:

- il compostaggio (trattamento in presenza di ossigeno)**
- la digestione anaerobica (in assenza di ossigeno)**
- il trattamento integrato aerobico/anaerobico**

Il compostaggio (trattamento aerobico)

Il compostaggio inizia non appena il materiale viene sistemato in cumulo (in modo tale da conservare calore): la miscelazione iniziale permette di raggiungere il giusto grado di ossigenazione per l'inizio dell'attività di trasformazione.

Nel processo di compostaggio si distinguono due fasi principali:

bioossidazione: i microrganismi in presenza di ossigeno degradano la frazione organica immediatamente assimilabile (zuccheri, aminoacidi, ecc) in composti semplici quali CO_2 , H_2O e sali minerali. Le temperature si innalzano a causa delle trasformazioni chimiche in atto ad opera dei microrganismi;

maturazione o umificazione: quando i processi biologici rallentano e le temperature iniziano a scendere perché si è esaurita la frazione organica più facilmente fermentiscibile, mutano i microrganismi attivi. Il processo continua portando alla formazione di sostanze umiche derivanti dalla polimerizzazione ossidativa di acidi fenolici e fenoli (cataboliti della lignina), tannini e polifenoli

Il processo di compostaggio è condotto principalmente da diverse popolazioni di microrganismi **aerobi** che decompongono il materiale organico al fine di accrescersi e riprodursi.

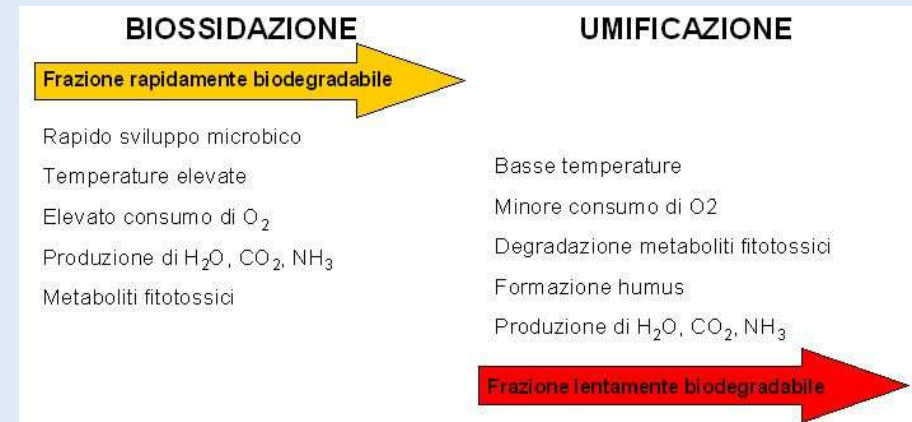
In corrispondenza delle varie fasi del compostaggio si affermano e predominano differenti popolazioni microbiche.

Nella prima fase avviene la degradazione della sostanza organica più facilmente degradabile (zuccheri, aminoacidi, ecc) ad opera di microrganismi aerobi termofili che consumano ossigeno e producono calore (reazione termofila). Inizialmente, prima dello sviluppo della popolazione microbica, la temperatura è relazionata alle condizioni ambientali e alle caratteristiche del materiale, ma non appena i microrganismi termofili iniziano la degradazione, la temperatura si innalza bruscamente fino a raggiungere $60-65^\circ\text{C}$. Raggiunto il picco, che peraltro permette l'inattivazione di patogeni e semi di infestanti presenti, la temperatura inizia a scendere e ad assestarsi.

Nella seconda fase ad un'attività microbica meno energica, corrisponde un abbassamento della temperatura (intorno ai $40-45^\circ\text{C}$) e il completamento del processo di decomposizione che riguarda le molecole più complesse. Con l'abbassamento della temperatura mutano quindi le popolazioni di microrganismi attive che passano da quelle mesofile a quelle psicrofile, presenti alla fine del processo (temperatura simile a quella ambientale). Questa seconda fase può durare anche alcuni mesi in funzione della qualità e dell'omogeneità dei materiali iniziali.

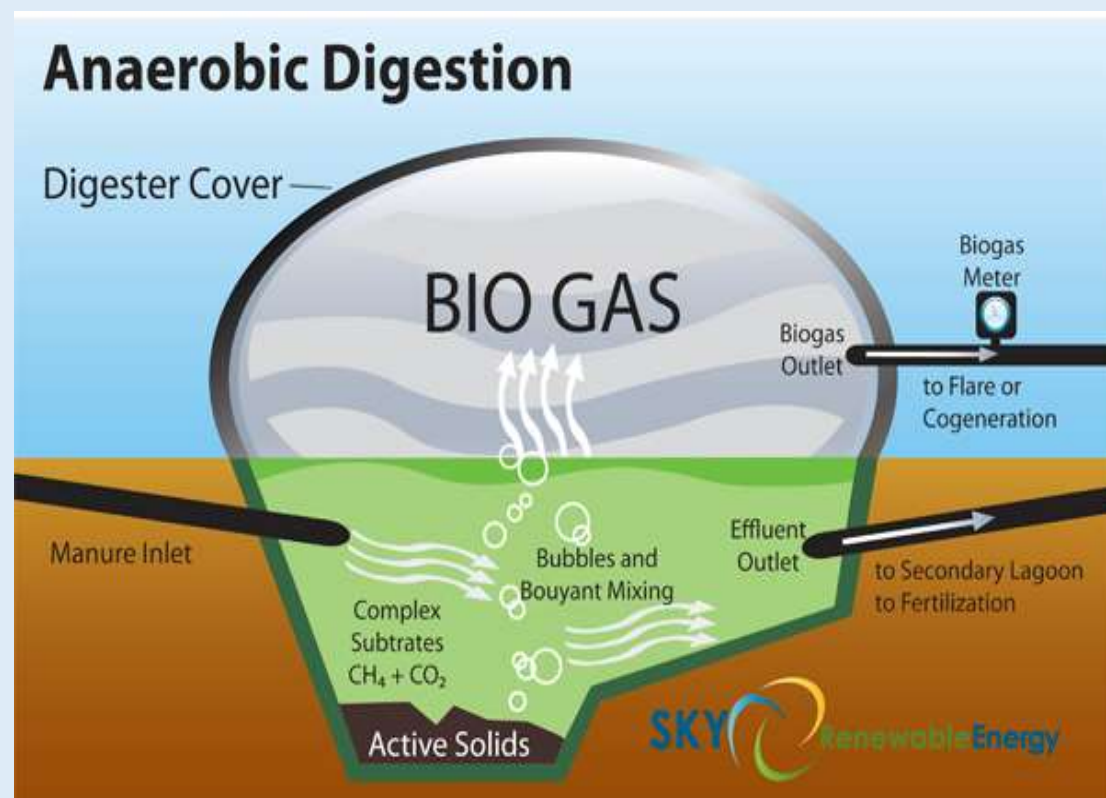
Il compostaggio porta ad una riduzione del volume variabile tra $\frac{1}{4}$ e metà del volume della biomassa iniziale. Per lo più, tale abbattimento è dovuto all'evaporazione dell'acqua e alla perdita di CO_2 oltre che alla riduzione della pezzatura del materiale.

Nonostante le perdite di azoto ammoniacale, la maggior parte dei nutrienti resta inalterata nel compost legata però ai composti più stabili: ciò porta ad un materiale ammendante a lento rilascio dei fattori nutritivi.

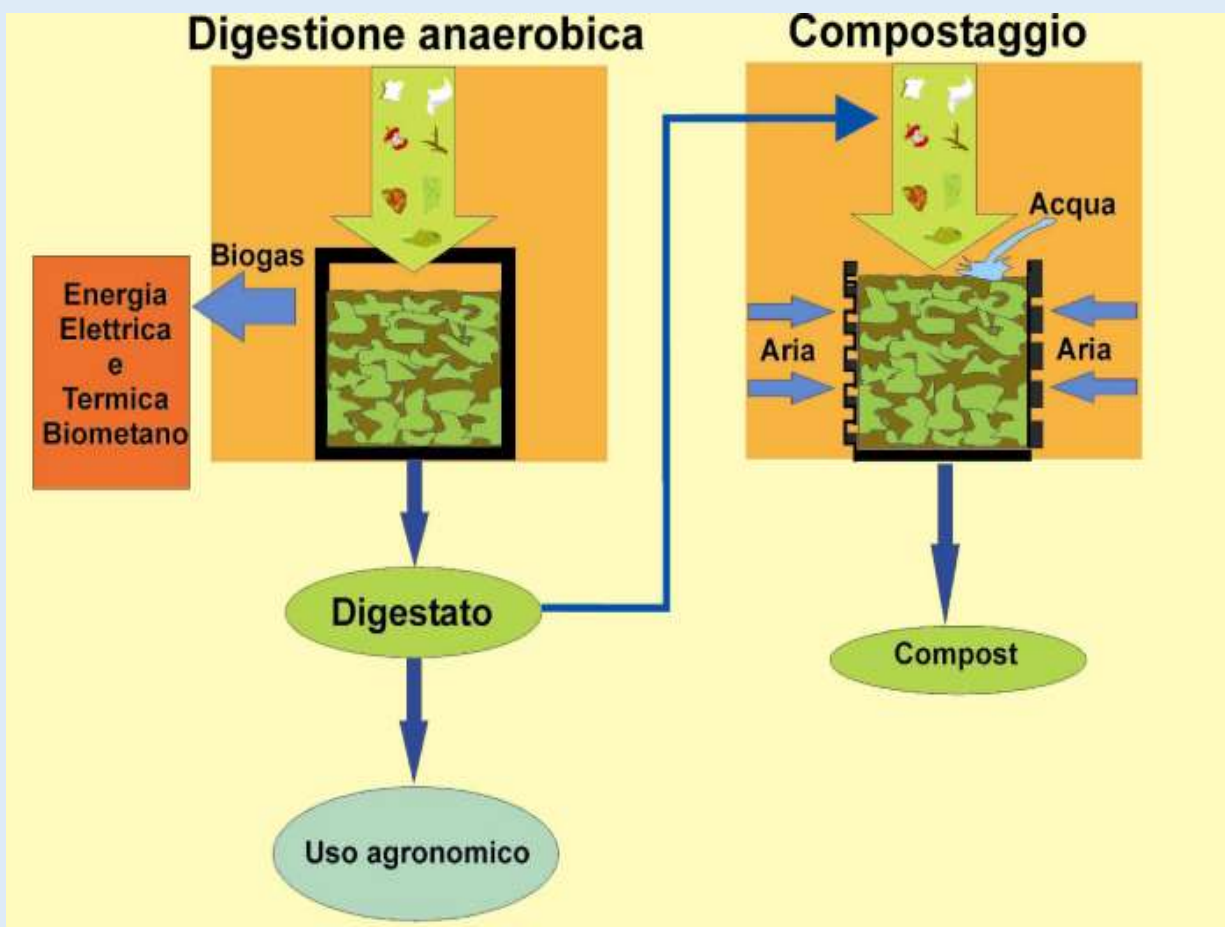


La digestione anaerobica dei rifiuti organici

E' un processo biologico che, in assenza di ossigeno, degrada la sostanza organica in biogas, una miscela di metano (CH_4) e anidride carbonica (CO_2). Il biogas, a sua volta, può essere utilizzato per la produzione di energia elettrica e termica, o convertito in biometano, un combustibile rinnovabile. Inoltre, il processo produce il digestato, un ammendante organico da utilizzare in agricoltura.



Il trattamento integrato aerobico/anaerobico dei rifiuti organici



E' una strategia di gestione dei rifiuti che combina la digestione anaerobica con il compostaggio, ottimizzando la produzione di biogas e compost di alta qualità, con conseguenti benefici ambientali ed energetici. Questo sistema consente di ridurre le emissioni di gas serra rispetto al solo compostaggio e di ottenere biomasse con elevato contenuto di metano (utili alla produzione di biogas).

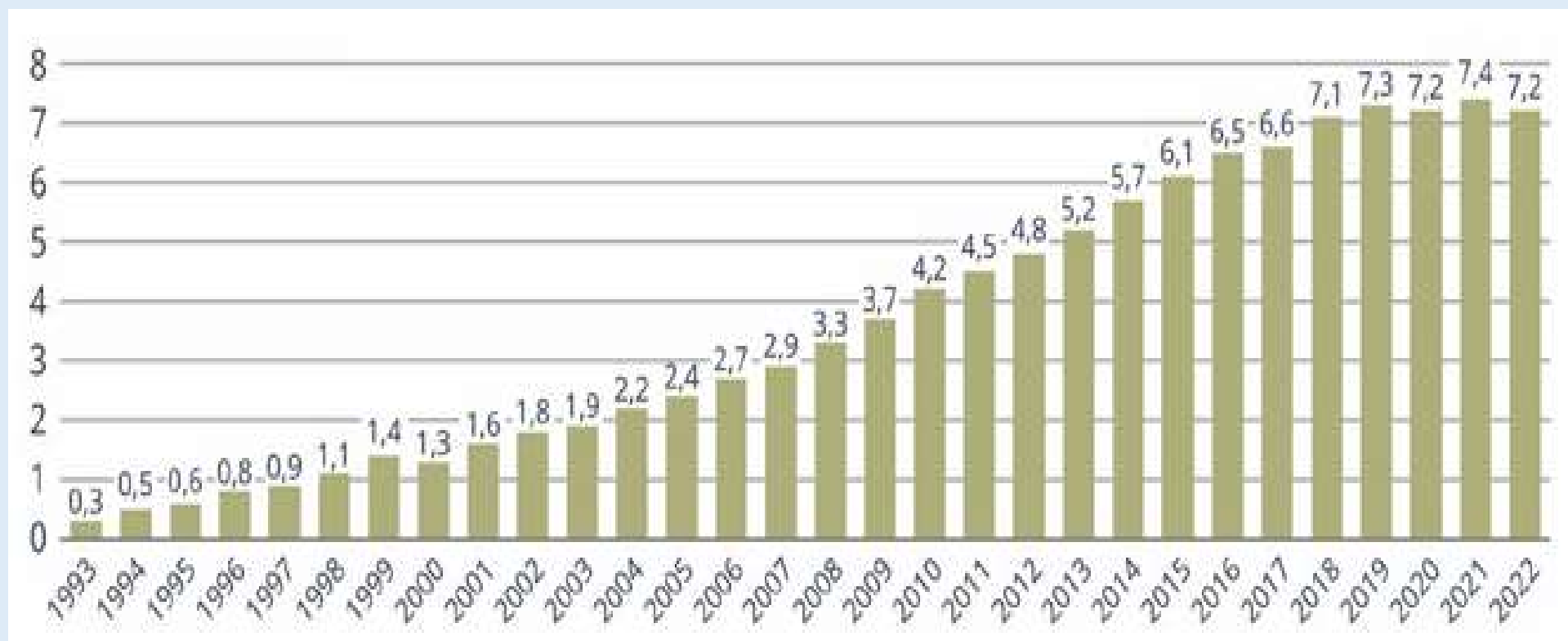
Andamento della raccolta differenziata dei rifiuti organici (umido+verde) in Italia, 1993-2022 (Mt) (dati ISPRA)

IL RICICLO IN ITALIA | 2024

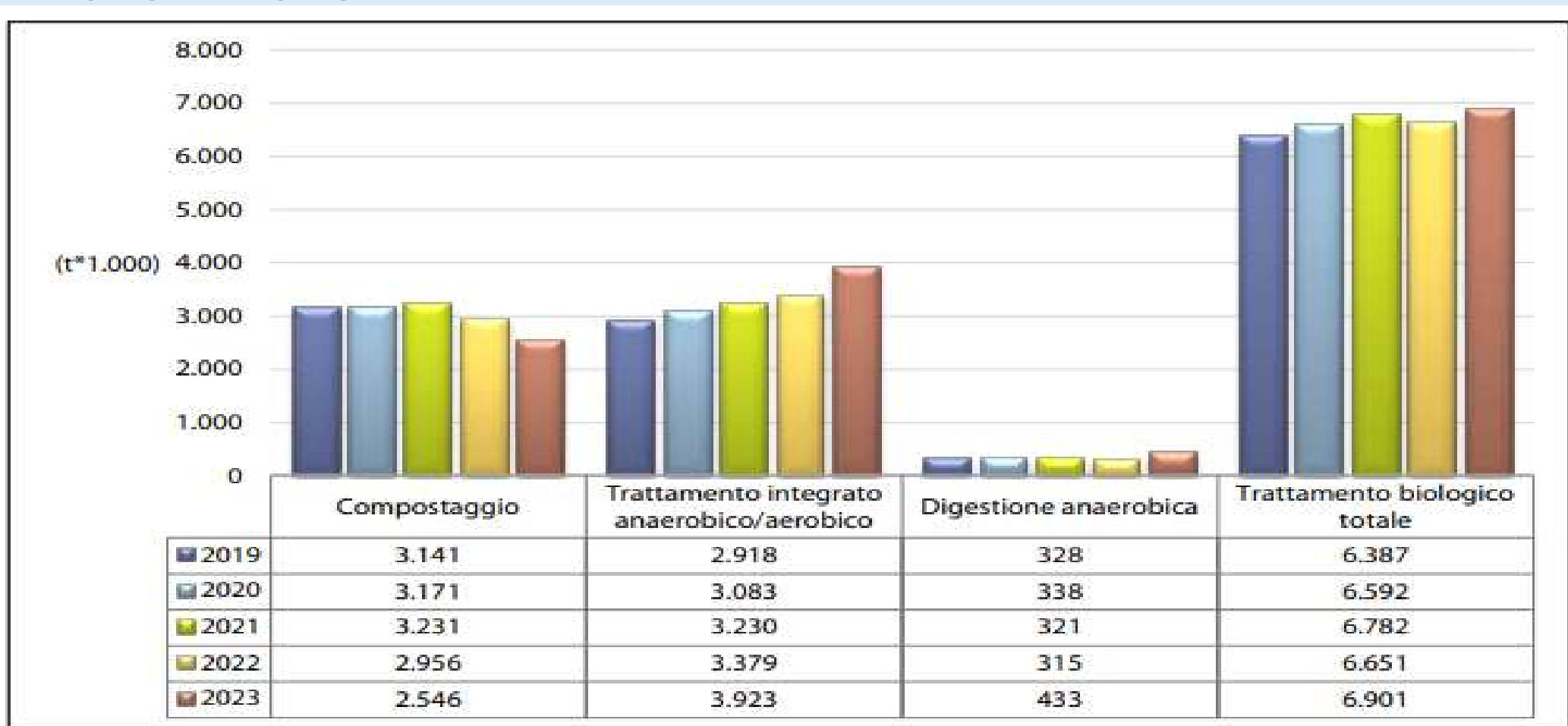
A cura di Edo Ronchi



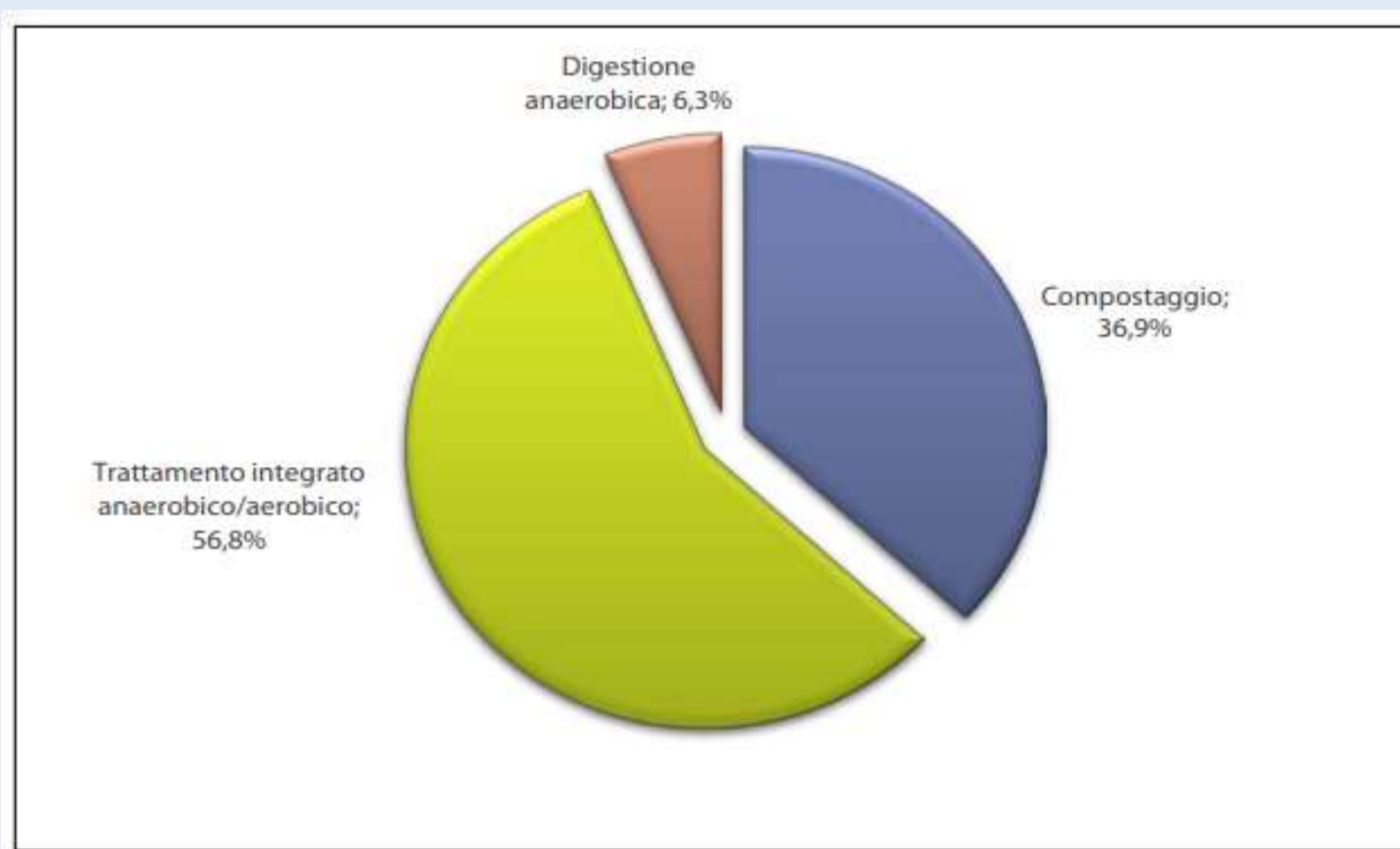
FONDAZIONE
PER LO SVILUPPO
SOSTENIBILE
Sustainable Development Foundation



Trattamento biologico della frazione organica da raccolta differenziata, per tipologia di gestione, anni 2019 – 2023



Trattamento biologico della frazione organica da raccolta differenziata, anno 2023

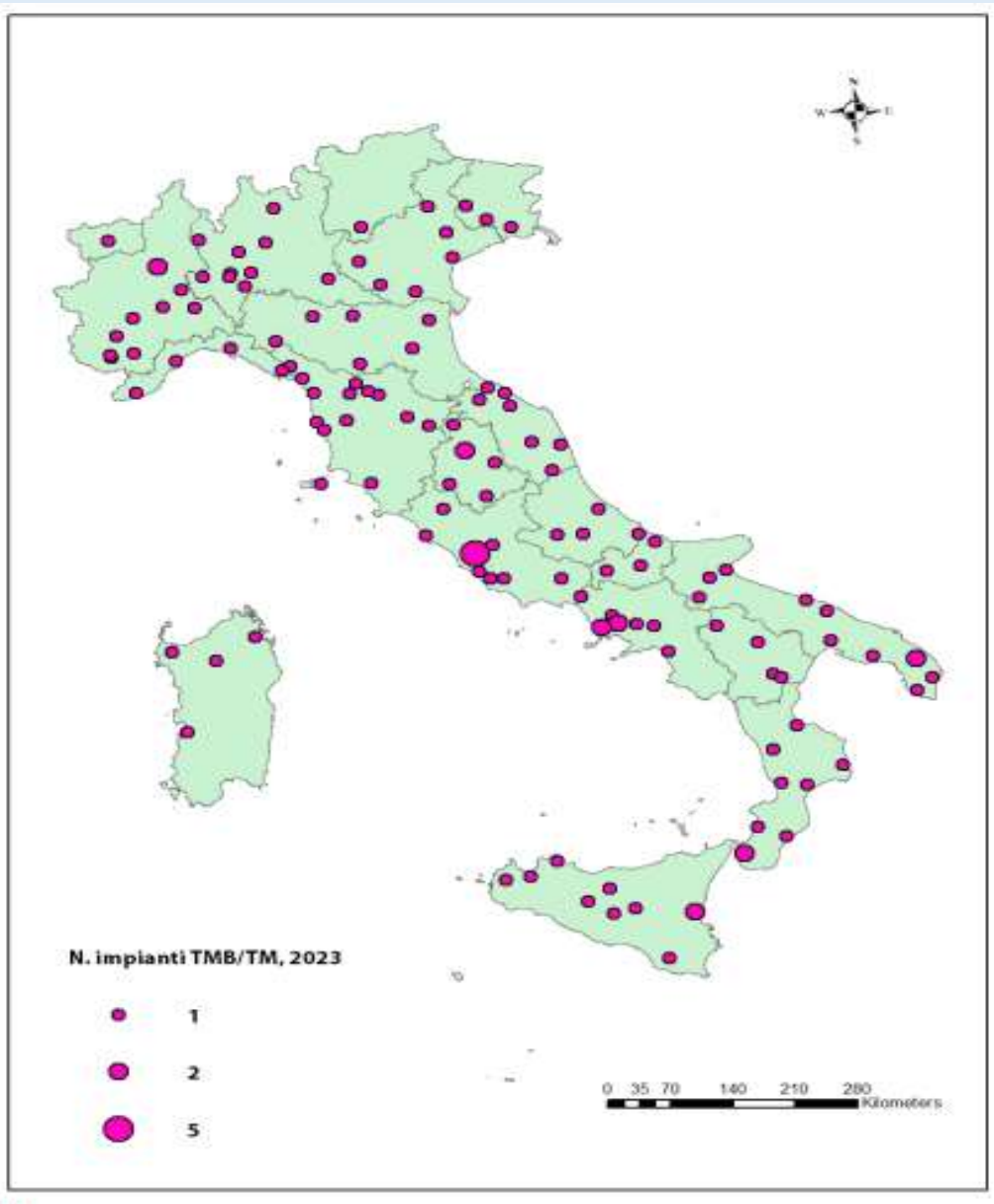


Gli impianti di gestione dei rifiuti urbani rientranti nelle tipologie esaminate, operativi nel 2023, sono complessivamente 656. Di seguito, si riporta il dettaglio per macroarea geografica e per tipologia di impianto.

Tipologia		Numero impianti			
		Nord	Centro	Sud	Totale
Trattamento biologico	Compostaggio	166	33	76	275
	Trattamento integrato	38	10	13	61
	Digestione anaerobica	23	2	2	27
Trattamento meccanico o meccanico biologico	TMB	27	24	50	101
	TM	14	16	3	33
Coincenerimento		7	1	3	11
Incenerimento		25	5	6	36
Discariche		49	24	39	112
Totale		349	115	192	656

Fonte: ISPRA

https://www.isprambiente.gov.it/files2024/pubblicazioni/rapporti/rapportorifiutiurbani_ed-2024_n407_versionedati-di-sintesi-it.pdf

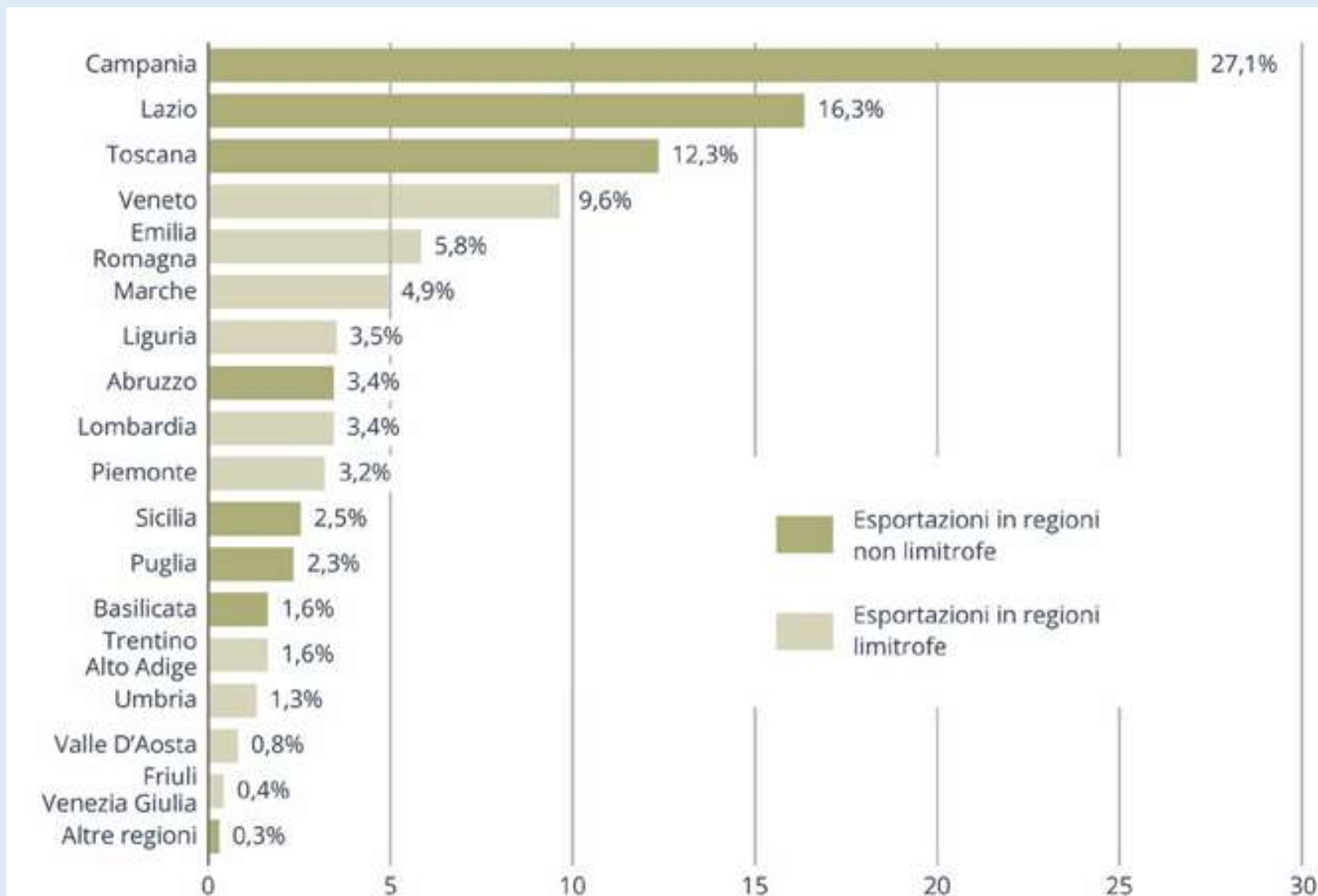


Distribuzione regionale degli impianti TMB/TM, anno 2023

(TMB = trattamento meccanico biologico; TM = trattamento meccanico)

Conferimento della frazione organica da raccolta differenziata in territori extra regionali, per regione, 2022 (%).

Dati ISPRA 2023



Sitografia essenziale

- [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics)
- <https://www.compostnetwork.info/policy/biowaste-in-europe/>
- <https://ecostar.eu.com/recycling-organic-waste-in-europe-and-around-the-world-ecostar/>
- https://www.isprambiente.gov.it/files2024/pubblicazioni/rapporti/rapportorifiutiurbani_e_d-2024_n407_versionedati-di-sintesi-it.pdf
- <https://www.ecomondo.com/blog/20228422/recupero-riciclo-rifiuti-rifiutu-organici>
- <https://www.ricicloinitalia.it/rapporto-2024/>
- <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/rifiuti/rifiuti-urbani/gestione/recupero-della-frazione-organica-compostaggio-e-digestione-anaerobica>
- Arpa Emilia-Romagna <https://www.arpae.it> › rifiuti › report rifiuti 2024
- <https://www.arpalazio.it/ambiente/rifiuti/pubblicazioni-rifiuti>
- <https://www.arpacampania.it/compostaggio-locale-e-di-comunita>
- <https://www.catasto-rifiuti.isprambiente.it/index.php?pg=gestnazione&width=1600&height=900>

**Per chi fosse interessato, qualche
approfondimento in più sul processo della
decomposizione**

La decomposizione biologica

In ecologia si considera in senso lato come decomposizione ogni processo di ossidazione biologica che produce energia bilanciando, approssimativamente, la produzione biologica che ha luogo con la fissazione dell'energia solare (fotosintesi) e la costituzione di sostanze organiche complesse a partire da semplici sostanze inorganiche.

Possono essere individuati tre diversi tipi di decomposizione: **respirazione aerobica** (l'ossidante è l'ossigeno gassoso),

respirazione anaerobica (l'ossidante è una sostanza inorganica diversa dall'ossigeno),

fermentazione (l'ossidante è una sostanza organica).

La decomposizione avviene mediante trasformazioni energetiche all'interno e tra gli organismi e costituisce un'importante funzione vitale.

Che cosa è

La decomposizione quindi è il processo attraverso il quale l'energia ed i nutrienti (azoto, carbonio, fosforo etc.) racchiusi nella materia organica morta, vengono rimessi in circolo all'interno degli ecosistemi. Questo processo coinvolge la componente biologica di un ecosistema (comunità) e le componenti non biologiche (chimiche e fisiche); tuttavia, gli agenti diretti della decomposizione sono in primis i microrganismi (batteri e microfunghi) e successivamente piccoli invertebrati, comunemente chiamati detritivori.





platelminti

miriapodi



miriapodi

acari



pseudoscorpioni



nematodi



insetti
coleotteri



chilopodi



insetti ditteri



protozoa



ragni



insetti
carabidi



crostacei



molluschi



batteri



funghi superiori



collemboli



anellidi



sostanza organica



actinomycetes

Qualche attore del processo di decomposizione

Negli ecosistemi il compartimento del detrito rappresenta la sede di accumulo di energia chimica potenziale e nutrienti in uscita dai compartimenti di produzione e pascolo. Energia e nutrienti vengono reintrodotti nel sistema attraverso una serie di ossidazioni biologiche note col termine “decomposizione” del detrito organico.



La quantità di detrito organico che entra in un ecosistema dovrebbe essere costantemente in equilibrio dinamico con i processi di dissipazione (decomposizione o esportazione) pena l'accumulo e lo sviluppo di fenomeni di carenza di ossigeno. Uno spostamento dell'equilibrio, quantificabile con variazioni di velocità in uno dei processi coinvolti, implica effetti a cascata su altri compartimenti del sistema.

Va tuttavia considerato che esiste un certo ritardo tra la produzione di materia organica e la sua decomposizione e ciò garantisce agli ecosistemi una maggiore resistenza. Infatti, se una perturbazione produce un rallentamento della produzione per un breve intervallo di tempo, questo rallentamento non produrrà un significativo disturbo al ciclo globale, proprio perché il materiale da decomporre, che restituisce i nutrienti ai produttori, ha un ritardo di fase e può non risentire della riduzione temporanea di input. Ovviamente è importante che i piccoli sfasamenti non superino la scala temporale o spaziale del processo globale.

Sia in ambiente acquatico sia in ambiente terrestre esistono cospicui flussi di materia organica morta. Ovviamente tale materia è inerte e tende a precipitare o al suolo o sul fondo dei corpi d'acqua. Questo detrito funge da cibo per tutta una serie di organismi e, quando sufficientemente sminuzzato, può essere efficientemente attaccato da batteri e funghi. D'altra parte in ambiente terrestre vengono anche prodotti composti organici altamente resistenti che vanno a costituire l'humus.

Il processo decomposizione porta alla mineralizzazione e consta nella trasformazione della sostanza organica morta in sali minerali, anidride carbonica, acqua, ed energia che può essere esportata dall'ecosistema

Il processo di decomposizione può risolversi in umificazione che consta nella trasformazione della sostanza organica morta di origine animale e vegetale in altra sostanza organica complessa e stabile dovuta a processi di sintesi e polimerizzazione dovuti ai microfunghi e perlopiù ai batteri.



La conseguenza principale della **lentezza della decomposizione** è **che il comparto della materia organica morta risulta di notevoli dimensioni.**

In ambiente terrestre tale comparto per le catene di detrito riveste un'importanza analoga a quello dei produttori primari per le catene di pascolo. Anche dal punto di vista quantitativo la dimensione della sostanza organica morta è paragonabile alla dimensione del comparto dei produttori primari e in molti casi superiore.

Nelle foreste il contenuto di carbonio nella biomassa viva è dello stesso ordine di grandezza di quello contenuto nella materia organica morta del suolo. Il carbonio nel suolo è maggiore nelle foreste boreali, inferiore in quelle temperate, ancora inferiore nelle foreste tropicali, caratterizzate da elevati tassi di decomposizione. Nelle praterie, tundre, deserti, paludi e nel terreno coltivato il contenuto di carbonio nel suolo è estremamente variabile, ma è comunque di un ordine di grandezza maggiore del carbonio contenuto nella biomassa viva.

Bioma	MOM _{media}	Area	MOM _{tot}
Foresta tropicale	10.4	24.5	255
Foresta temperata	11.8	12	142
Foresta boreale	14.9	12	179
Boscaglia	6.9	8.5	59
Savana tropicale	3.7	5	56
Prateria temperata	19.2	9	173
Tundra e pascoli alpini	21.6	8	173
Deserto	5.6	18	101
Deserto estremo, roccia e ghiaccio	0.1	24	3
Terreno coltivato	12.7	14	178
Palude	68.6	2	137
Totale		147	1456

In alto stime della **materia organica morta (MOM)** contenuta nel suolo di diversi biomi terrestri. I valori medi sono espressi come $\text{kg C} \cdot \text{m}^{-2}$, l'area è espressa in 10^6 km^2 , i valori totali sono espressi come 10^9 t C .

A sinistra con le stesse espressioni metriche per l'area e i valori medi e totali di biomassa i dati di **produttività**.

Bioma	Area	PPN _{media}	PPN _{totale}	Biomassa _{media}	Biomassa _{totale}
Foresta pluviale tropicale	17.0	900	15.3	20	340
Foresta stagionale tropicale	7.5	675	5.1	16	120
Foresta sempreverde temperata	5.0	585	2.9	16	80
Foresta decidua temperata	7.0	540	3.8	13.5	95
Foresta boreale	12.0	360	4.3	9.0	108
Boscaglia	8.0	270	2.2	2.7	22
Savana	15.0	315	4.7	1.8	27
Prateria temperata	9.0	225	2.0	0.7	6.3
Tundra e pascolo alpino	8.0	65	0.5	0.3	2.4
Deserto	18.0	32	0.6	0.3	5.4
Roccia, ghiaccio e sabbia	24.0	1.5	0.04	0.01	0.2
Terreno coltivato	14.0	290	4.1	0.5	7.0
Palude	2.0	1125	2.2	6.8	13.6
Laghi e acque correnti	2.5	225	0.6	0.01	0.02
Totale terraferma	149	324	48.3	5.55	827
Oceano aperto	332.0	57	18.9	0.0014	0.46
Acque di risalita (upwelling)	0.4	225	0.1	0.01	0.004
Piattaforma continentale	26.6	162	4.3	0.005	0.13
Letti algali e scogliere	0.6	900	0.5	0.9	0.54
Estuari	1.4	810	1.1	0.45	0.63
Totale mare	361	69	24.9	0.0049	1.76
Totale generale	510	144	73.2	1.63	829

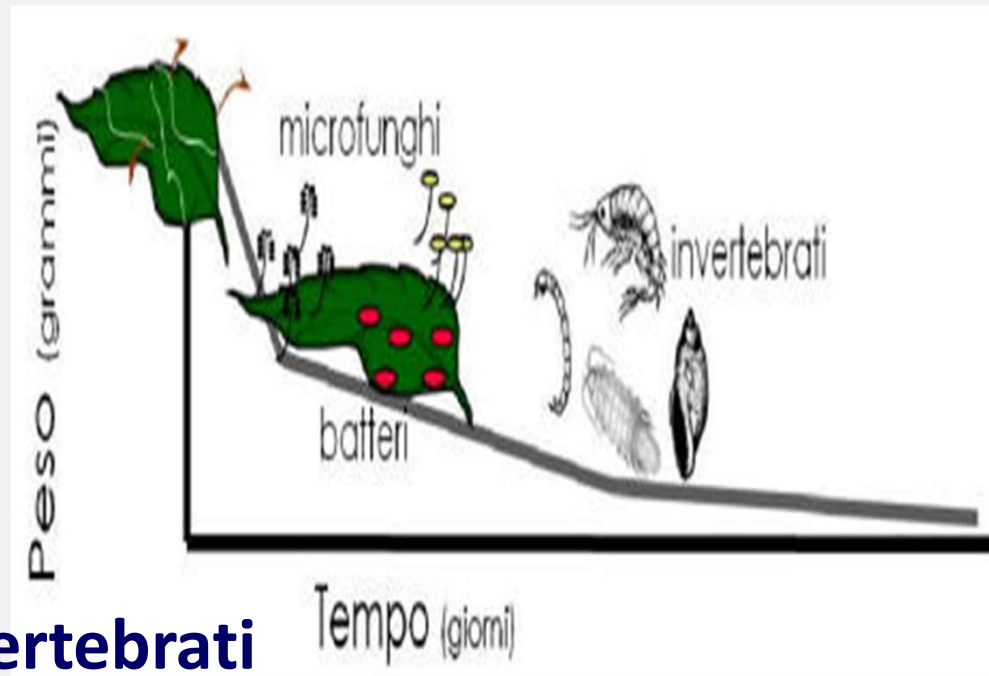
Il processo di decomposizione **in ambiente acquatico** è forse meno conosciuto rispetto a quello in ambiente terrestre, anche per l'intrinseca difficoltà di studiare zone vaste e profonde come gli oceani. La differenza principale con la decomposizione in ambiente terrestre è che il particolato organico che precipita verso il fondo viene in grandissima parte degradato nella colonna d'acqua medesima e anzi negli strati superficiali. La ragione di questo fatto è che la colonna d'acqua ospita importanti popolazioni di batteri che mineralizzano il particolato organico, rilasciando anidride carbonica e nutrienti. **E' stato dimostrato che in ecosistemi marini e d'acqua dolce in media la produzione dei batteri nella colonna d'acqua è circa il doppio della produzione dello zooplancton** e che circa il 40% della produzione primaria netta va a rimpiazzare biomassa che è consumata dai batteri. Inoltre circa il 95% del carbonio presente nel particolato organico viene degradato entro una profondità di 3000 m e solo piccole quantità raggiungono il fondo degli oceani. **Il processo di decomposizione continua comunque anche nel sedimento di mari e laghi**, favorito dalla presenza di una fauna di fondo specializzata nell'utilizzo del detrito (il cosiddetto benthos) e di funghi e batteri.

Il processo di decomposizione e mineralizzazione si articola in tre fasi:

**Lisciviazione
(idrosolubilizzazione)**

**Attacco microbico
(batteri e funghi)**

**Attacco dei macroinvertebrati
(detritivori)**



La lisciviazione

Il processo della lisciviazione consiste nella rapida perdita di sostanze chimiche idrosolubili da parte del detrito che prevalentemente è rappresentato da foglie, non appena esse vengono a trovarsi in acqua.

La perdita di peso secco delle foglie, nelle prime ventiquattro ore di permanenza nell'acqua, può essere anche del 15% e varia a seconda delle specie di foglie prese in esame. Le foglie decidue sono liscivate più rapidamente di quelle appartenenti a conifere. Il rilascio di sostanze idrosolubili può durare anche fino a dieci giorni circa dall'immissione in acqua e la perdita di peso secco può raggiungere anche valori del 40%. In soluzione entrano soprattutto gli zuccheri, gli amminoacidi e le sostanze polifenoliche. Tra gli zuccheri prevalgono in particolar modo il glucosio ed il fruttosio, mentre l'acido glutammico è l'amminoacido rilasciato in quantità maggiore dalle foglie.

Attacco dei microrganismi

Non appena le foglie cadono sul substrato o in un corpo d'acqua, e mentre avviene la lisciviazione, esse vengono colonizzate dai microrganismi. In poco tempo essi si sviluppano sulla superficie e all'interno della foglia. I funghi giocano un ruolo più importante nei primi stadi della decomposizione e soprattutto quando il detrito da decomporre è di origine vegetale. Si ritiene infatti che i batteri siano più importanti nella demolizione di sostanza organica di origine animale. E' possibile individuare sulle foglie una successione di specie microbiche durante la decomposizione in relazione alle molecole da decomporre.



Esistono funghi specialisti, che colonizzano un solo tipo di foglia oppure funghi generalisti che colonizzano molte specie diverse di foglie; questa in relazione alla natura biochimica del detrito da decomporre e alle capacità metaboliche fungine;

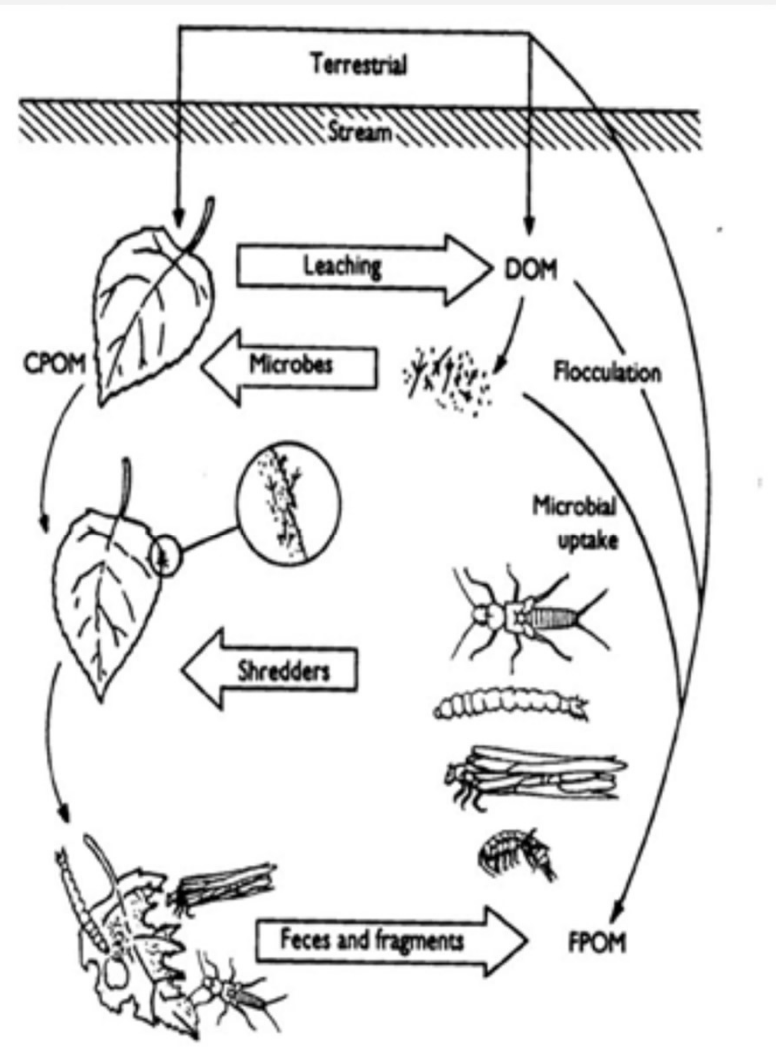
Esiste una vera e propria successione fungina sul detrito sulla base delle molecole detritiche da decomporre, diverse nel tempo, e sempre delle capacità metaboliche dei funghi.

I batteri hanno un ruolo minore nella decomposizione, almeno nei primi stadi di essa. E' stato dimostrato che il numero di batteri aumenta costantemente nel procedere della decomposizione di specie diverse di foglie, ma non è stato possibile evidenziare nessun pattern successionale. I batteri hanno una grande attività proteolitica, ma se escludiamo i mixobatteri, essi non sono in grado generalmente di demolire i componenti strutturali delle foglie come la cellulosa. La parziale decomposizione del materiale fogliare operata dai funghi prepara quindi il terreno ad un più incisivo attacco dei batteri.

E' stato dimostrato che i batteri diventano dominanti negli ultimi stadi della decomposizione, mentre contemporaneamente diminuisce la presenza e l'importanza dei funghi.

Attacco dei macroinvertebrati

Gli animali detritivori utilizzano il materiale detritico solo se colonizzato dai microfunghi che lo hanno reso più appetibile (il rapporto C/N diminuisce). I detritivori completano la decomposizione nel processo di ingestione, assimilazione ed egestione, che determina una ulteriore frantumazione del materiale organico in particolato di dimensioni più piccole, più facilmente attaccabile dai batteri che ne determinano la mineralizzazione.



Fattori che influenzano il tasso decompositivo:

- **Caratteristiche biochimiche del detrito (rapporto C/N del materiale di partenza)**
- **Fattori abiotici (disponibilità di acqua, temperatura, caratteristiche climatiche)**
- **Fattori biotici (popolamenti microbici e popolamenti animali presenti nell'ecosistema)**

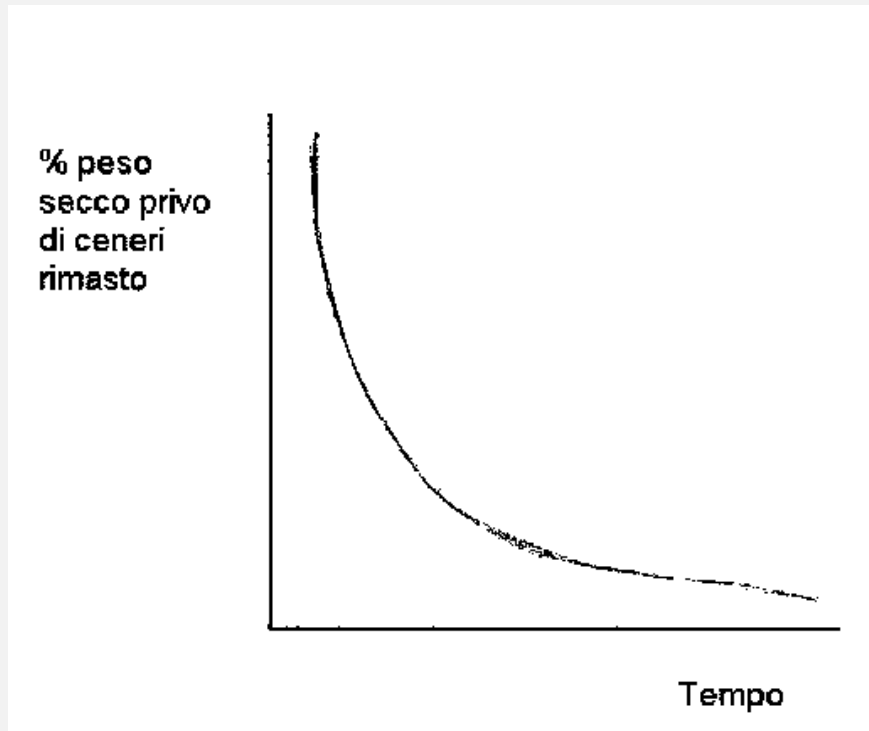


Litter bag method



Come misurare il tasso di decomposizione?



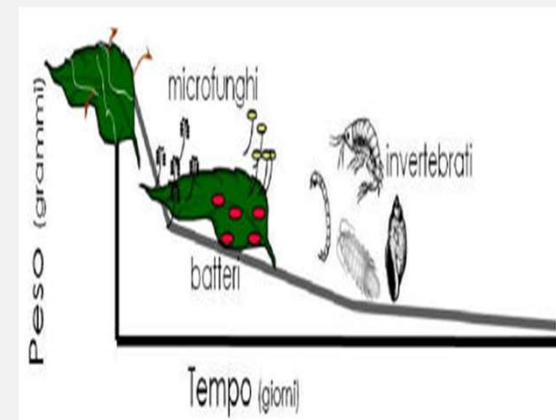


La perdita del materiale segue il modello esponenziale negativo. Generalmente si calcola il tempo necessario affinché rimanga solo l'1% in peso secco del substrato in decomposizione. Le foglie hanno diverse velocità di decomposizione.

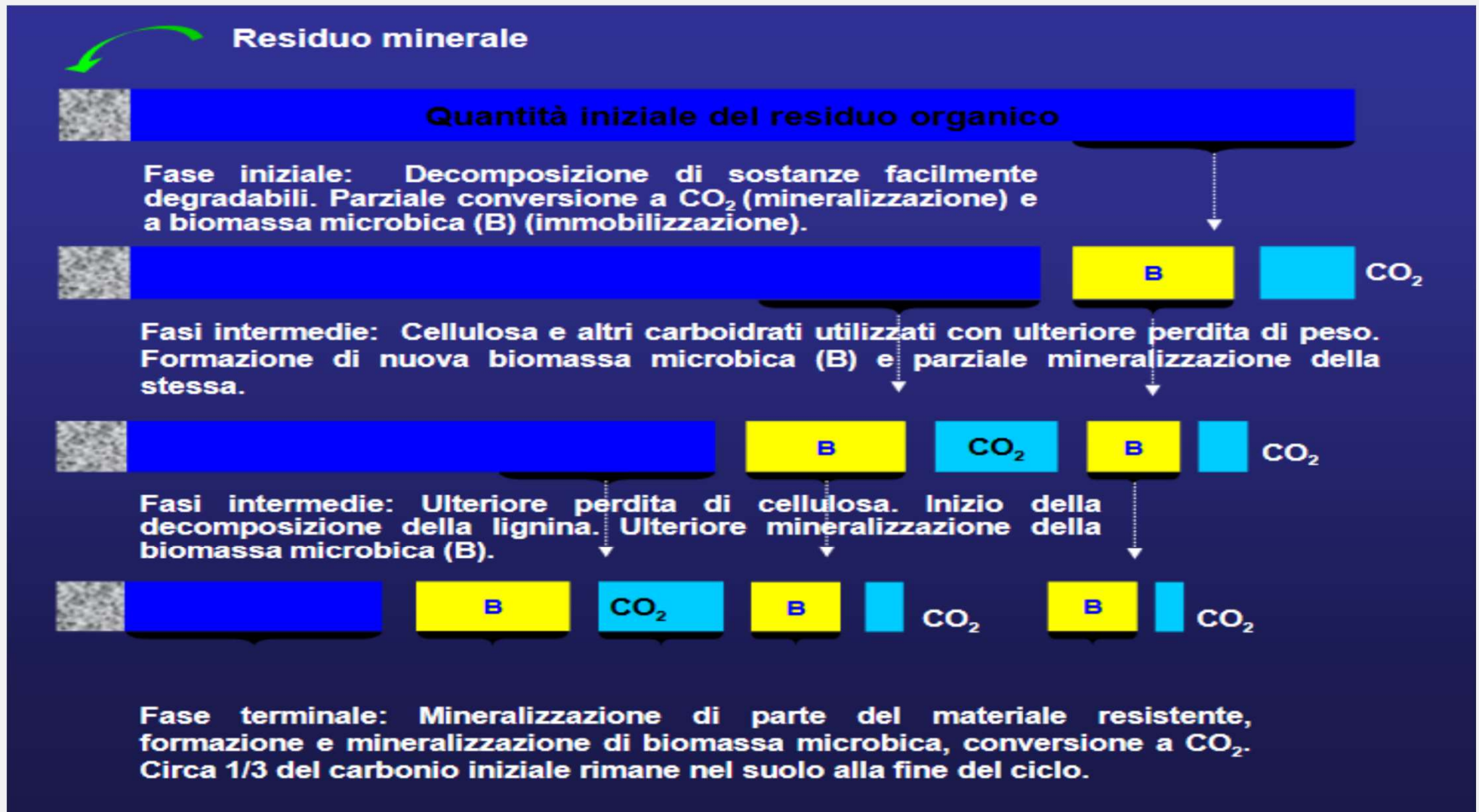
Si distinguono:

- foglie veloci (circa 8 mesi): ad es. l'ontano
- foglie medie (circa 10 mesi): ad es. il salice
- foglie lente (circa 12 mesi): ad es. la quercia.

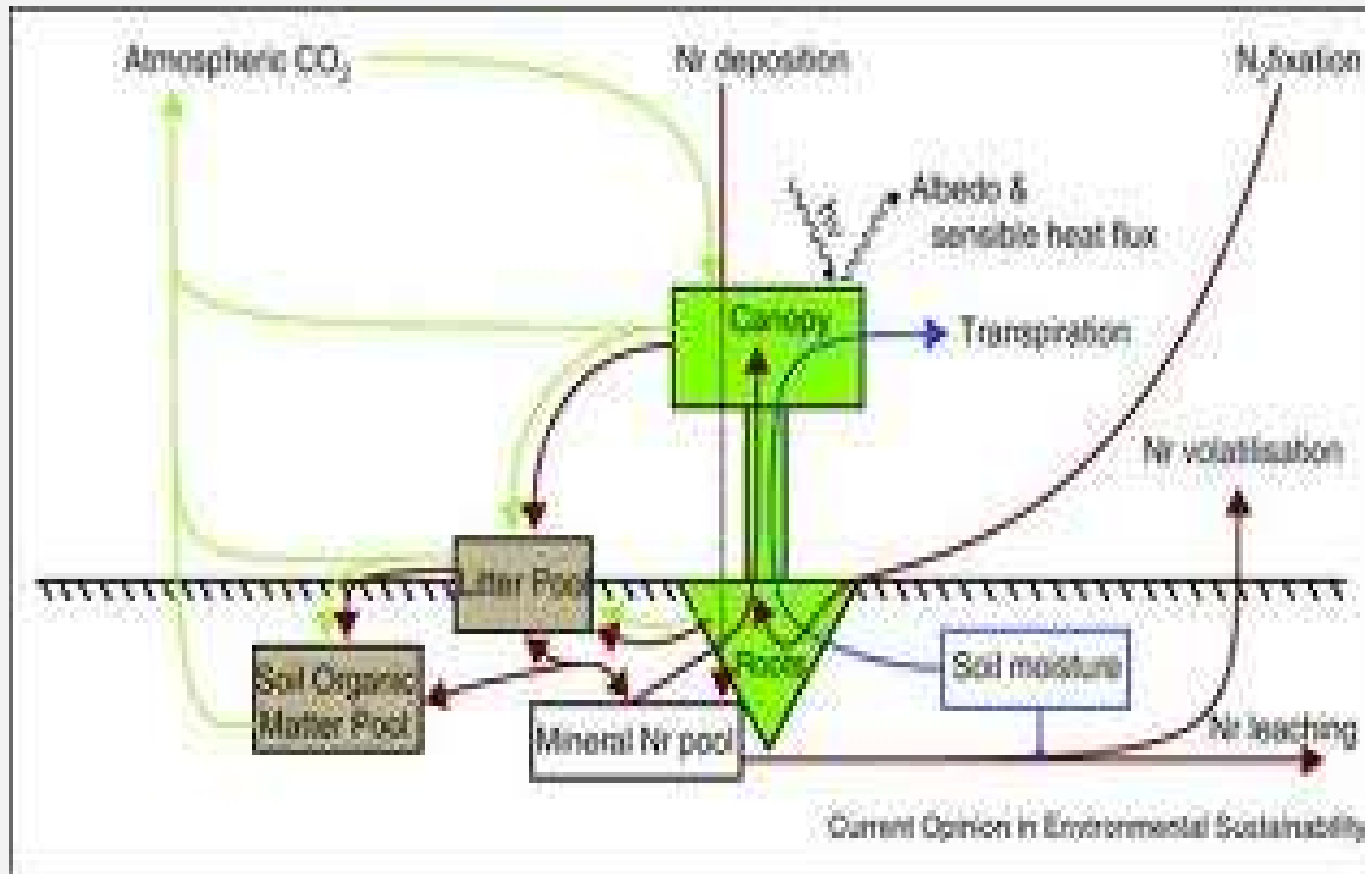
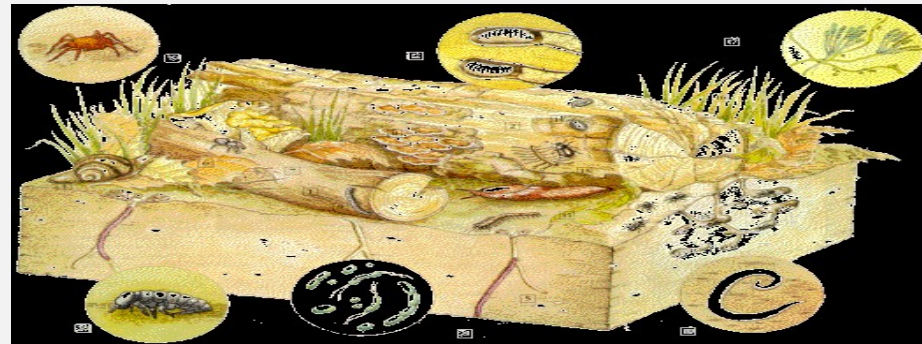
Questi valori possono variare con le condizioni (caratteristiche biotiche ed abiotiche dell'ecosistema) in cui si svolge la decomposizione.



Fasi della decomposizione durante l'attacco microbico fino alla mineralizzazione



In ambiente terrestre



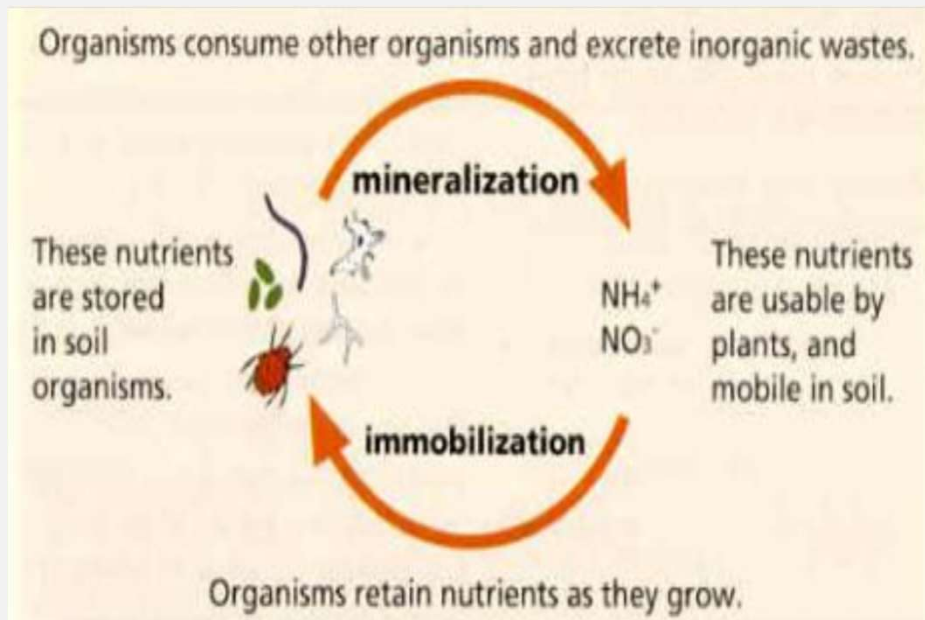
Contenuti nella sostanza organica nel suolo

- 1. sostanze semplici come amminoacidi, zuccheri, acidi organici mono- e bicarbossilici**
- 2. composti ad alto peso molecolare come polisaccaridi, proteine, acidi nucleici, lipidi e lignine**
- 3. sostanze umiche**

Analizziamo il procedere della decomposizione in ambiente terrestre



Mineralizzazione rapida o umificazione



L'humus è un complesso di sostanze organiche presenti nel suolo, di fondamentale importanza per la nutrizione dei vegetali, derivato dalla decomposizione di residui vegetali e animali, e dalla sintesi di nuove molecole organiche, ad opera di vari organismi; ha natura colloidale, e perciò fortemente assorbente, aspetto terroso o fibroso, colore bruno nerastro. E' molto lento nella decomposizione/mineralizzazione, e qualora presente immobilizza i nutrienti al suo interno anche per molti anni. La quantità di humus presente dipende anche dalla tipologia di suolo e dalla sua granulometria.

Le sostanze umiche

Esse costituiscono circa il 65% della sostanza organica del suolo e sono il prodotto di processi di resintesi (umificazione) dei prodotti della decomposizione e trasformazione chimica e biologica di biomolecole provenienti dalle spoglie e dalle emissioni di organismi vegetali ed animali .

Le sostanze umiche sono dei composti amorfi, di colore scuro, parzialmente aromatici, in gran parte idrofili, chimicamente complessi, polielettroliti, con un peso molecolare che va da poche centinaia a migliaia di dalton . Esse non hanno nessuna caratteristica chimica e fisica riconducibile ad uno specifico composto e sono caratterizzate da una elevata resistenza alla degradazione chimica e biologica.

In base alla loro solubilità a diversi pH, le sostanze umiche sono suddivise in:

- acidi umici, frazione solubile in alcali ed insolubile a pH acidi ($\text{pH} < 2$);
- acidi fulvici, frazione solubile a qualsiasi pH;
- umina, insolubile a qualsiasi valore di pH;

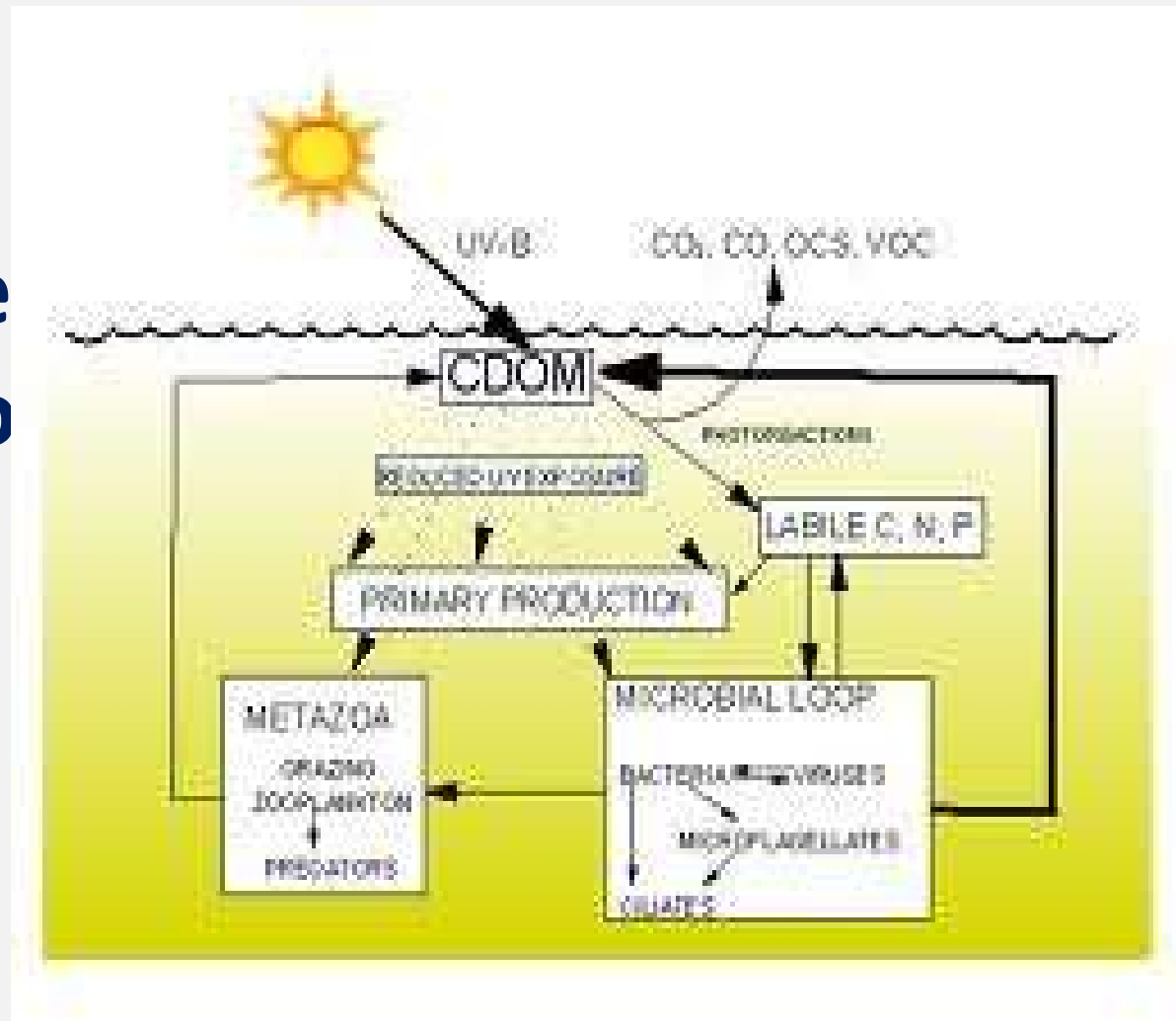
Le tre frazioni, pur presentando gli stessi gruppi funzionali, differiscono per la composizione elementare, per il peso molecolare e per il contenuto in gruppi funzionali.

In generale si può dire che gli acidi fulvici differiscono dagli umici per un più basso peso molecolare, una struttura molecolare meno complessa, un contenuto minore di anelli aromatici e una maggior percentuale di ossigeno e di gruppi acidi, in particolare carbossili ed ossidrilici. L'umina è la sostanza umica del suolo meno conosciuta. Essa sembra essere costituita da acidi umici altamente condensati, sostanze paraffiniche e prodotti del metabolismo fungino con un elevato contenuto di C ($> 60\%$). L'umina è così intimamente legata alla frazione minerale da non poterne essere separata.

Funzioni controllate dalla decomposizione della sostanza organica in ambiente terrestre

- Il detrito è la fonte energetica della relativa catena alimentare**
- Determina la mineralizzazione della sostanza organica**
- Contribuisce a mantenere sia il suolo sia sedimenti in sistemi acquatici, vitale ed attivo**
- Determina nel suo procedere in relazione a specifici organismi partecipanti al processo, la produzione di Ormoni ambientali inibitori e stimolatori/regolatori di altre attività (antibiotici, vitamine, amminoacidi, molecole complesse allelopatiche)**
- Consente la chelazione e la complessazione degli ioni metallici (produzione delle sostanze umiche)**

In ambiente acquatico





Nella laguna deltizia Sacca di Goro è stata studiata la decomposizione di detrito vegetale di *Phragmites australis*, utilizzando la tecnica dei pacchi fogliari (Petersen and Cummins, 1974), che si basa sulla introduzione e successiva raccolta, diluita nel tempo, di quantità note di detrito che simulano il naturale accumulo di materiale detritico in ambiente acquatico. La scelta del *Phragmites australis* è stata fatta in quanto questa pianta è risultata essere dominante lungo i margini della laguna.



- | | | |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| (1) TAGLIO DELLA FALCE, | (4) LANTERNA VECCHIA, | (7) BOSCO SPADA, |
| (2) SACCA DI GORO, | (5) TORRE DI VOLANO, | (8) DOSSI DELLE CELLETTE, |
| (3) MERCATO DEL PESCE DI GORO, | (6) VALLI PORTICINO E CANNEVIE', | (9) LA CITTÀ' DEGLI AIRONI |



Phragmites australis è una pianta monocotiledone della famiglia delle Graminaceae ha foglie lineari con una guaina basale all'inserzione del fusto, rizoma sotterraneo orizzontale con stoloni allungati fino a 6-10m, culmo eretto, foglioso fino all'infiorescenza, fogliame verde carico con foglie lanceolate, larghe fino a 2-3cm, ma spesso convoluto-pungenti all'apice. E' una pianta poco esigente, infatti ha una vastissima diffusione in tutto il continente euroasiatico, richiede pieno sole e sopporta sommersioni alternate a condizioni di siccità (non prolungata). In altezza supera rapidamente un paio di metri, ha fioritura estiva con spighe apicali poco ornamentali.



Come si calcola il tasso di decomposizione in acqua?

Il tempo necessario affinché si abbia una certa perdita di peso secco varia moltissimo con le diverse specie di foglie e con le differenti condizioni chimico fisiche in cui si svolge la decomposizione. Generalmente il tasso di decomposizione si esprime con k (coefficiente di demolizione) che si ottiene applicando la formula di Peterson e Cummins (1974) dove

$$K = \frac{-\ln (\% \text{ peso secco rimasto}/100)}{\text{giorni di esperimento}}$$

- DOM** = materiale organico disciolto
- POM** = materiale organico particolato
- CPOM** = materiale organico particolato grossolanamente
- FPOM** = materiale organico particolato finemente
- UFPOM** = materiale organico particolato ultrafinemente
- SHREDDERS** = animali che utilizzano il CPOM
- SCRAPERS** = animali che utilizzano il CPOM e il fitobenthos
- COLLECTORS** = animali che utilizzano FPOM e UFPOM filtrando l'acqua (*filtering collectors*) oppure raccogliendo il detrito sul sedimento (*gathering collectors*)

Schema della decomposizione di foglie in un corso d'acqua

