



**Istituto Tecnico Industriale  
STANISLAO CANNIZZARO  
CATANIA**



**CENTRO POLIFUNZIONALE DI SERVIZIO DEL MIUR SCUOLA RETE ENIS**  
Direzione: Via C. Pisacane, 1 - 95122 Catania      Via Palermo, 282 (Ingresso merci e locali tecnici)  
Tel.095451557 – 095455337 – Fax.095457166      [www.cannizaroict.it](http://www.cannizaroict.it)      [preside.cannizzaro@tin.it](mailto:preside.cannizzaro@tin.it)

---

# “COMPOSTAGGIO DEI SOTTOPRODOTTI DELL’INDUSTRIA AGRUMARIA”

*Alunni: Milazzo Gabriele, Romeo Erika, Mineo Angelo, Guerra Br uno*

*Docenti: Consoli Salvatore, Percolla Angela, Palermo Maria*

## PREMESSA

L'Italia è uno dei principali Paesi produttori di agrumi del Bacino del Mediterraneo con una superficie investita di oltre 170.000 ha e una produzione media negli ultimi cinque anni di 3 milioni di tonnellate; si colloca al secondo posto dopo la Spagna, che con 4,8 milioni detiene il primato. La specie di agrumi maggiormente coltivate nel nostro Paese sono nell'ordine l'arancio, il limone, il clementino e il mandarino. In Sicilia altre zone di produzione sono localizzate nelle province di Palermo, dove primeggia la coltura del mandarino, di Ragusa e Agrigento nelle quali sono presenti in prevalenza le cultivar di arancio "Navelina" e "Washington navel", oltre a discrete quantità di clementine e aliquote poco rappresentative di biondo comune.

Attualmente la principale destinazione degli agrumi siciliani è il mercato interno del frutto fresco, il quale da solo assorbe quote che si aggirano intorno al 50–60% dell'intera produzione. L'esportazione interessa, invece, solo il 6–8 %; il resto del prodotto è avviato alla trasformazione industriale.

I quantitativi di agrumi avviati all'industria negli ultimi venti anni sono andati progressivamente aumentando, passando da una media di 351.000 tonnellate del 1971/1976 al 860.000 degli ultimi cinque anni registrando così un aumento pari al 145%. Le cause che hanno determinato tale andamento sono ascrivibili principalmente al progressivo tracollo delle esportazioni e alla conseguente congestione del mercato interno del frutto fresco. Questo fenomeno ha orientato sempre più la destinazione degli agrumi italiani verso la trasformazione industriale. Alla luce di quanto esposto è facilmente rilevabile come l'industria di trasformazione sia chiamata a svolgere un ruolo sempre più importante nel contesto agrumicolo nazionale.

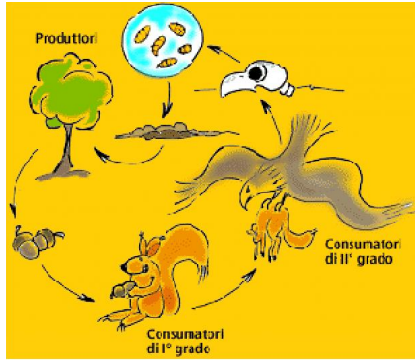
Il compostaggio è un processo biologico di tipo aerobico i cui risultati sono: la stabilizzazione, l'igienizzazione e l'umificazione degli scarti organici. Nel contesto di una migliore valorizzazione dei sottoprodotti dell'industria agrumaria si inserisce la possibilità di utilizzare i residui di lavorazione degli agrumi, il cosiddetto "Pastazzo", come matrice per la produzione di un *Compost* di qualità.

L'uso di tale matrice costituirebbe altresì un classico esempio della possibilità di trasformare i rifiuti, il cui costo economico e ambientale di collocamento improduttivo è alto e difficilmente valutabile, in una risorsa con un valore di mercato attraverso la commercializzazione di un *ammendante-fertilizzante* di qualità. Il *compost* ottenuto corregge e migliora la qualità di un terreno agricolo, ma non risolve le problematiche legate alla presenza di *erbe infestanti e parassiti*, che richiederebbero trattamenti con pesticidi o fitofarmaci.

Per questi motivi, gli studenti hanno studiato la possibilità di inserire nella massa fermentescibile del *pastazzo* un macerato di erbe (in particolare *Ortica*, *Equiseto* e *Derris Elliptica*) che fungono da antiparassitari naturali e contemporaneamente da diserbanti ed agiscono in base al principio biodinamico che utilizza le erbe infestanti per impedire la crescita delle stesse. Infine, aggiungendo al *compost cenere di legno* si tengono lontane le lumache alle quali è sgradita tale presenza e si accresce nel contempo la conc. di K e Mg.

### **Il ciclo della natura...**

In natura la sostanza organica prodotta e non più "utile" alla vita (foglie secche, rami, spoglie di animali, ecc) viene decomposta dai microrganismi presenti nel terreno che la restituiscono al ciclo naturale. Le componenti meno degradabili rimaste costituiscono l'humus, prezioso per la crescita di altri vegetali. L'humus può essere considerato una vera e propria riserva di nutrimento per le piante date le capacità di liberare lentamente ma costantemente gli elementi nutritivi (azoto, fosforo, potassio sono i più importanti), assicurando la fertilità costante del suolo



## INTRODUZIONE

Tutti i processi di trasformazione utilizzati nell'industria agrumaria danno origine a tre prodotti principali : *succo*, *olio essenziale* e *pastazzo*. Le percentuali relative di ogni singolo componente per unità di prodotto trasformato, sono all'incirca del 35-45% per il succo, dello 0,2-0,5% per l'olio essenziale e del 55-65% per il pastazzo. I primi due costituiscono i prodotti principalmente vendibili, il terzo viene, invece, considerato sottoprodotto a basso valore o scarto di lavorazione.

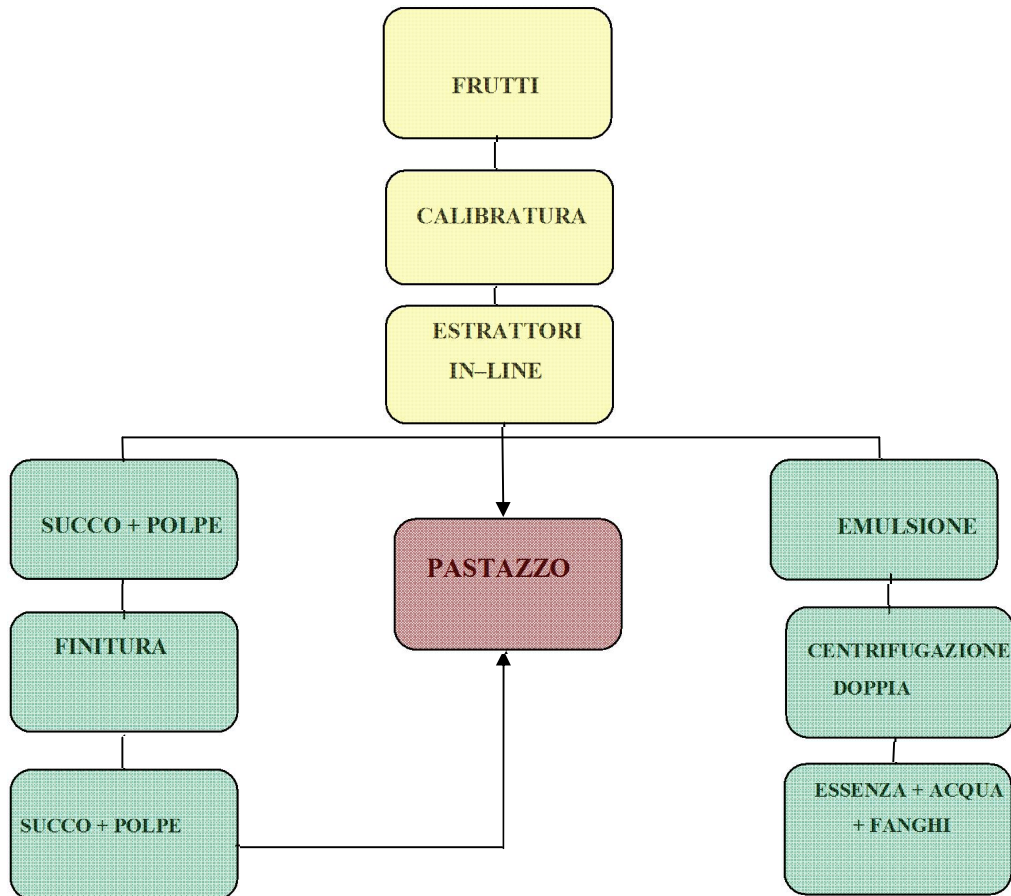


Fig.1- Estrazione contemporanea di succo ed essenza.

## Il Pastazzo

A fronte di un totale di frutti annualmente trasformati in Italia di circa 800.000 t., le produzioni di pastazzo ammontano a quasi 500.000 t..

Le scorze e le polpe che rappresentano i maggiori costituenti del pastazzo sono formate principalmente da:

- acqua (75- 85%);
- mono e di saccaridi, composti principalmente da glucosio, fruttosio e saccarosio (6-8%); polisaccaridi (pectina, proto pectina, cellulosa ed emicellulosa) pari a circa 1,5 -3%;
- acidi organici dallo 0,5-1,5% (citrico, malico, isocitrico);
- altre sostanze con spiccate proprietà biologiche quali vitamine, flavonoidi,amminoacidi ed elementi minerali.

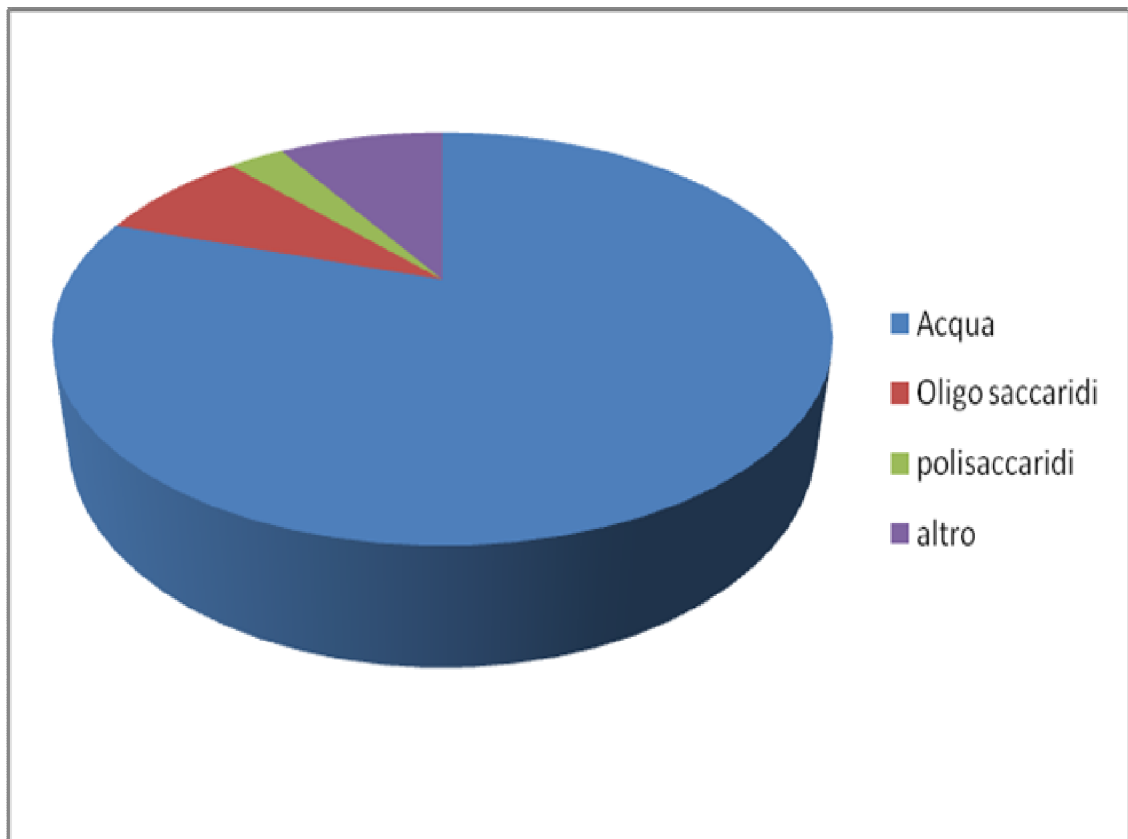


Fig.2:composizione del pastazzo

Nella tab.1 sono riportati, per il pastazzo di limone, mandarino e arancio, i valori medi e le relative deviazioni standard del contenuto in carbonio organico, azoto totale, fosforo, potassio e degli altri elementi minerali, nonché il valore di pH e di umidità.

I dati si riferiscono ad una campagna di campionamenti realizzata presso due industrie di trasformazione di agrumi fra le più importanti operanti in Sicilia, entrambe ubicate nel comune di Milazzo, in provincia di Messina.

Parametro	Unità di misura	Pastazzo di limone	Pastazzo di mandarino	Pastazzo arancio
C organico	%	45,8±1,0	45,6	45,4±0,5
N totale	%	1,4±0,2	1,1	1,2±0,2
C/N	----	34,5±4,8	41,4	38,5±6,9
K	%	0,96±0,13	0,84	0,91±0,22
P	%	0,14±0,01	91	0,13±0,02
Ca	%	0,79±0,10	0,81	0,77±0,09
Mg	%	0,10±0,02	0,09	0,09±0,01
Na	%	0,16±0,06	0,11	0,13±0,05
Cu	mg/Kg	8,5±2,0	8,0	9,3±4,5
Fe	mg/Kg	95,8±88,2	120,0	80,0±22,5
Zn	mg/kg	8,8±2,9	7,0	8,4±3,1
Mn	mg/kg	6,2±2,7	6,0	5,6±2,4
pH (sul tal quale)	----	3,40	3,72	3,70
Umidità (sul tal quale)	%	85,6±1,2	86,8	83,6±1,7
*i valori sono riferiti s.s.a 105°C				

Tab.1:composizione alimentare media del pastazzo di agrumi\*

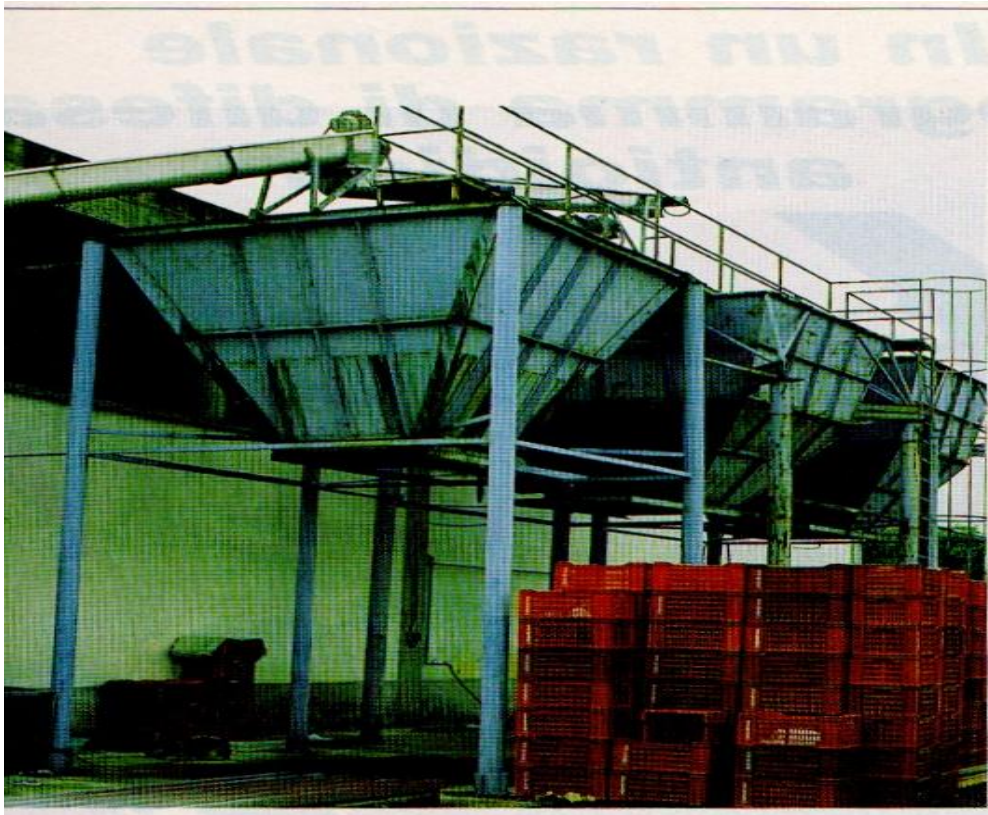
Una composizione degli scarti della lavorazione degli agrumi così interessante offre ampie possibilità di utilizzazione sia come fonte di sostanze ad alto valore aggiunto (pectine, flavonoidi, vitamine) sia per l'alimentazione umana o animale, soprattutto per l'elevato livello nutritivo dei propri componenti.

Allo stato attuale solo piccole quantità di pastazzo vengono essiccate per essere successivamente destinate alla produzione di pectina o all'industria mangimistica.

Il grosso della produzione, invece viene in parte utilizzato tal quale per alimentazione animale o avviato allo smaltimento in discariche più o meno controllate.

Se fino al più recente passato la gestione dei rifiuti è stata considerata solo in un'ottica di smaltimento, l'obiettivo oggi perseguito è quello di ridurre la quantità degli stessi e di promuovere, nel contempo, proficue attività di recupero e di riciclaggio.

A queste esigenze è rispondente la pratica del compostaggio, volta al recupero e alla valorizzazione di quei materiali organici che, diversamente, vedrebbero quale ipotesi di collocazione alternativa il conferimento in discarica



*Sili di raccolta delle scorze e polpe triturate*

## **IPOTESI DI COMPOSTAGGIO DEI SOTTOPRODOTTI DELL'INDUSTRIA AGRUMARIA**

Le analisi precedentemente riportate mettono in evidenza il carattere di elevata qualità del pastazzo per quanto riguarda la composizione chimico-fisico. In particolare il rapporto C/N, il contenuto di acqua, la presenza di meso e micro elementi e il bassissimo contenuto di metalli pesanti, tecnicamente, questa tipologia di sottoprodotto dell'industria agrumaria, matrice d'elezione per la realizzazione di un processo di stabilizzazione della sostanza organica mediante compostaggio.

Infatti, l'uso della matrice sopra menzionata per la produzione di un compost di qualità, costituirebbe un classico esempio della possibilità di trasformare i rifiuti, il cui costo economico e ambientale di collocamento improduttivo è alto e difficilmente valutabile, in una risorsa con un valore di mercato.

Tutto ciò è particolarmente rilevante in un Paese in cui la perdita progressiva di sostanza organica del terreno costituisce ormai da alcuni anni motivo di allarme per il mantenimento a tempo indeterminato della fertilità del suolo ( concetto fondamentale dell'agricoltura sostenibile ).

In questo contesto la chiusura del ciclo biogeochimico degli elementi nutritivi e il ritorno al suolo della sostanza organica in esso prodotta, assume una fondamentale importanza.

Sulla base delle considerazioni riportate, la Direzione Generale del Ministero delle politiche agricole e forestali ha deciso di approfondire le conoscenze relative alla produzione di ammendanti compostati misti ottenuti attraverso processi di trasformazione e biostabilizzazione aerobica controllata di residui dell'industria agrumaria.

Gli studenti della **classe V° A indirizzo "Chimico Industriale" dell'ITI "S. CANNIZZARO" di Catania**, prendendo lo spunto da quanto sopra esposto, hanno allestito in una compostiera un cumulo di *pastazzo* per l'ottenimento di *compost* destinabile ad un utilizzo sia in agricoltura convenzionale ( ai sensi della normativa 748/84 ) che in agricoltura biologica ( ai sensi della circolare Mipaf del 13 -9-99).

Il pastazzo è stato fornito dalla azienda sperimentale "Palazzelli" di Lentini (SR), mentre il materiale strutturante, derivante da potature di fruttiferi coltivati e necessario a rendere la miscela più equilibrata da un punto di vista fisico ( evitandone il compattamento e l'insorgenza di fermentazioni anaerobiche indesiderate) è stato reperito dagli studenti stessi e, opportunamente triturato, è stato aggiunto alla massa.



*Pastazzo di arance rosse*

(L'ITI Cannizzaro da anni è impegnato nel campo della sensibilizzazione ambientale; nell'anno 2001-2002, nell'ambito del progetto giovanile "IG Students" è stato prodotto il "compost", ammendante organico ricavato da rifiuti organici selezionati. L'iniziativa ha avuto molto successo ed è stata riproposta mediante il progetto "Compostaggio e Biodegradazione").

Tuttavia, se è vero che il principale fattore di fertilità di un terreno è la sua dotazione organica per l'azione di regolazione ed armonizzazione delle proprietà chimiche - fisiche - biologiche, è anche vero che la presenza di **erbe infestanti** e di **parassiti fitofagi**, costringe gli operatori del settore ad un uso, purtroppo negli ultimi anni sempre più indiscriminato, di *pesticidi*, *anticrittogamici* e *fitofarmaci* distruggendo così anche gli insetti utili alle colture.

L'apparente dissoluzione dei problemi legati alla difesa delle piante dagli attacchi parassitari, ha fatto sì che fino ad oggi, sia i consumatori che i coltivatori, fossero completamente disarmati di fronte al rischio rappresentato dalla distribuzione, spesso incauta, dei circa 1500 principi attivi utilizzati in agricoltura e commercializzati in più di 40.000 diversi formulati.

Una quantità enorme di composti tossici immessi nell'ambiente, senza una approfondita conoscenza delle conseguenze derivate dal loro utilizzo, anche se quest'ultimo è oggi controllato da leggi che l'agricoltore dovrebbe seguire.

## Innovazione incrementale

*Questi motivi hanno spinto gli studenti ad effettuare una ricerca accurata nel campo delle pratiche agricole naturali per ottenere un compost che alla fine dia buoni risultati anche nel combattere i parassiti e le erbe infestanti.*

Già all'inizio del secolo si sapeva che molte specie vegetali contenevano delle sostanze che rappresentavano una forma di difesa delle piante dagli attacchi dei parassiti animali e vegetali.

(vedi la presenza di un alcaloide, la *solanina*, in tutte le solanacee, e così via).

Da queste osservazioni è nata l'idea di utilizzare, per la difesa delle piante, preparati vegetali e di inserirli nel processo di compostaggio quando si è già raggiunta una fase avanzata. Tali preparati risultano efficaci nel combattere i parassiti ma non pericolosi per l'uomo e per l'ambiente.

Una delle piante utilizzate a questo scopo è l'**ortica**



*Urtica dioica L.*

L'ortica, pur essendo comunissima e quindi facilmente reperibile, viene utilizzata meno di quanto meriti. Cresce spontanea nei luoghi incolti in genere, lungo le strade, i fossi, le siepi, vicino alle case e nei boschi, dal mare fino ad una altitudine di 2500m. È una pianta erbacea perenne, alta fino a 1,5m dal fusto eretto a sezione quadrata. Le foglie sono opposte, spicciolate, a forma di cuore, con stipole e margine seghettato a grandi denti triangolari. Sia il fusto che le foglie sono ricoperti di peli urticanti, il cui apice a capocchia si spezza al tocco più lieve emettendo un liquido irritante che contiene istamina, acetilcolina e acido formico.

Le molte virtù dell'ortica sono state confermate da ricerche scientifiche recenti che hanno anche stabilito i principi più attivi più importanti contenuti nell'ortica: *urticoside, clorofilla, xantofilla, secretina, tannini, sali minerali*.

Oltre all'azione depurativa, antiemorragica, antiforfora, antinfiammatoria etc., possiede anche proprietà efficaci per contrastare la diffusione di numerosi parassiti animali e vegetali: *afidi, cocciniglie, acari (ragnetto rosso), crittogame (marciumi vari), peronospora, ticchiolatura, numerosi insetti (tignola, mosca delle ciliegie etc.)*.

Il macerato di ortica è stato preparato lasciando l'ortica a bagno in acqua fredda (in ragione di 1 Kg di pianta fresca per 10 litri di acqua), per circa una settimana, fin quando il liquido è diventato molto scuro e non ha più

dato luogo a formazione di schiuma. Per neutralizzare in parte l'intenso odor e emanato durante la fermentazione sono state aggiunte alcune foglie di angelica.

Tale macerato, non diluito, è stato distribuito direttamente sul cumulo nella compostiera accelerando nel contempo la maturazione del compost.

.....

Analoghi effetti produce il macerato di *equiseto*, considerato anche un antiparassitario naturale.



*Equisetum arvense*

Il nome Equiseto deriva dal latino equi = cavallo e seta = crine, con una chiara allusione alla somiglianza alla coda di cavallo. Diffuso in tutta l'Eurasia, è comune in Italia dove cresce nei luoghi umidi, spesso su terreni argillosi dai quali succhia avidamente silice ed altri minerali trasformandoli in composti bio disponibili per l'uomo. L'utilizzo dell'equiseto come uso terapeutico risale ai più antichi trattati di medicina, per le sue virtù emostatiche, remineralizzanti e diuretiche.

Contiene molti principi attivi tra cui: acido silicico, Sali di potassio, acido ascorbico, fenoli, composti flavonici, equisetonina, alcaloidi, acido malico, gliceridi dell'acido stearico, linoleico e oleico.

Ricerche biologiche recenti hanno dimostrato che possiede proprietà antiparassitarie, insetticide, e anticrittogamiche, per cui un suo infuso, immerso in un terreno agricolo, rappresenta un rimedio efficace contro gli ***insetti litofagi e le malattie fungine***.

L'*infuso* di equisetto è stato preparato versando acqua bollente (in ragione di 1 Kg di pianta fresca per ogni 10 litri di acqua) sulle piantine e lasciando macerare il tutto per 24 ore, coprendo il recipiente. L'*infuso* è stato quindi addizionato alla massa della compostiera, già nella fase avanzata di decomposizione.

Anche in questo caso si è verificata una accelerazione nella maturazione del compost.

.....

Un altro insetticida ed acaricida naturale a largo spettro di azione, è il **Rotenone**, estratto dalle radici delle piante appartenenti alla famiglia delle *leguminose*, come la *Derris Elliptica* e la *Derris Involuta*.



*Derris Elliptica*



*Apparato radicale*

Le leguminose sono una famiglia di piante dicotiledoni dell'ordine delle *FABALES* e sono diffuse nei cinque continenti con capacità di adattamento agli habitat più disparati.

Le varie specie differiscono notevolmente nell'aspetto: alcune sono piante erbacee, altre arbusti o alberi veri e propri. Una caratteristica comune a molte leguminose è la presenza sulle radici di un micro organismo il *Rhizobium leguminosarum*, che è in grado di fissare l'azoto atmosferico.

Il Rotenone esplica la sua azione insetticida naturale agendo per contatto su molti insetti (Tripidi -Ragnetti rossi - aleurodidi - Tignole - Dorifora, vermi ecc..), e non ha contro indicazioni per animali a sangue caldo. Più il suo grado di purezza è elevato più è efficace nel suo effetto, prediligendo un ambiente a pH leggermente acido.

L'estratto preparato dalle radici della pianta e immesso nella biomassa fermentescibile, ha trovato il giusto valore di pH per potere esercitare la sua importante azione.

.....

Un'altra aggiunta che è stata fatta, ma solo alla fine del processo di stabilizzazione della biomassa, è stata quella della *Cenere di legna* (non trattata con vernici o solventi) come fertilizzante naturale.

Le ceneri infatti contengono in genere elevate quantità di calcio (anche oltre il 40%), apprezzabili quantità di potassio (10-11% di  $K_2O$ ), fosforo ( $P_2O_5$  - 2-5%).

Poiché le ceneri hanno ragione alcalina e col tempo potrebbero innalzare il pH del terreno sono state aggiunte da 20 a 40 gr. di ceneri per kg di compost.



*La cenere necessaria è stata prelevata da un forno a legna*

## Biodegradabilità e Compostabilità

La biodegradabilità è la caratteristica delle sostanze e dei materiali naturali di essere assimilati dai microrganismi e di essere così immessi nei cicli naturali.

Un cumulo di rifiuti organici è appetibile per i microrganismi che cominciano a consumare le sostanze nutritive, ossia a degradare le sostanze organiche, producendo CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e calore. Alla fine del processo il rifiuto iniziale si è trasformato in una sostanza chiamata compost che assume l'odore e l'aspetto del suolo fertile ed è sanificato e stabilizzato in quanto privo di microrganismi patogeni e di materiale putrescibile.

Il compostaggio è un processo biologico di tipo aerobico i cui risultati sono la stabilizzazione, l'igienizzazione e l'umificazione degli scarti organici.

Qualsiasi materiale organico, vegetale ed animale, capace di subire la trasformazione microbica, può essere sottoposto al processo di compostaggio, durante il quale il rapporto superficie/volume delle particelle condiziona direttamente la natura e la velocità di degradazione.

In funzione di ciò, risulta necessario tritare il materiale da compostare così da ridurre il volume e aumentare la superficie del prodotto di base.

Durante il processo notevole importanza assume il controllo del rapporto carbonio/azoto (C/N), che deve avere valori compresi nell'intervallo 15-40.

Se tale rapporto scende al di sotto di 15 il processo evolve rilasciando ammoniaca e il rendimento peggiora; se supera il valore di 40 il processo rallenta o si arresta del tutto per carenza di elementi necessari alla crescita microbica.

Altrettanto rilevante risulta la consistenza del materiale; la struttura della massa, infatti, deve essere tale da permettere l'infiltrazione dell'aria, dell'acqua e il rilascio della CO<sub>2</sub> e del vapore.

Una struttura che non favorisce queste condizioni causa la compattazione del materiale, determinando l'avvio di reazioni degradative di tipo anaerobico, con conseguente produzione di odori sgradevoli e percolato.

Pertanto ai fini di una ottimale evoluzione del processo, la massa da compostare dovrà essere costituita da materiali facilmente degradabili, che costituiranno il substrato energetico per i microrganismi e da materiali ad alto contenuto di lignina e cellulosa necessari per l'umificazione.

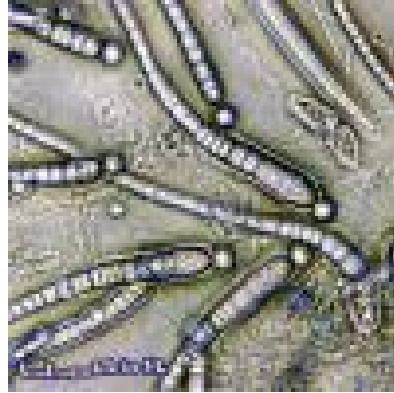
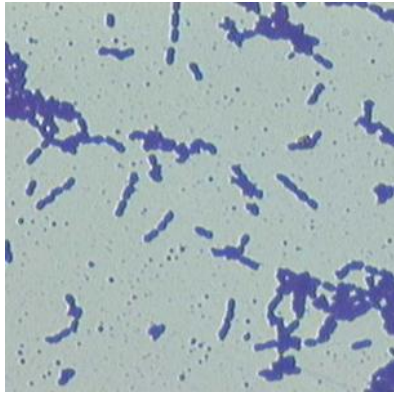
.....

## Il processo di compostaggio

Il compostaggio è quindi un processo di natura microbica, provocato da una popolazione di microorganismi molto complessa.

Nessuna specie domina il processo poiché la matrice organica in trasformazione e le condizioni chimico-fisiche all'interno di essa variano e mutano in continuazione, nel tempo e nello spazio.

Fra i maggiori raggruppamenti di microorganismi ricordiamo. **I batteri, gli attinomiceti e gli eumiceti.**



*Famiglie di batteri (Procarioti)*



*Famiglie di Attinomiceti*



*Famiglie di Eumiceti*

Durante le prime fasi del processo, i composti carboniosi più semplici (zuccheri solubili, acidi organici) vengono prontamente metabolizzati e mineralizzati dai microrganismi aerobi mesofili, per lo più batteri.

Con il procedere del compostaggio, l'elevata attività metabolica e la natura esotermica dei processi producono un innalzamento della temperatura della massa.

La fase *termofila*, in base alle caratteristiche del substrato e al sistema di compostaggio adottato, può protrarsi anche per alcune settimane.

Durante la prima fase di decomposizione della sostanza organica fresca, si sviluppano delle *fitotossine* (metaboliti naturali non stabili, che tendono a degradarsi velocemente) tra le quali si annoverano **l'azoto ammoniacale e l'acido acetico oltre alle ammine alifatiche ed aromatiche e agli acidi organici.**

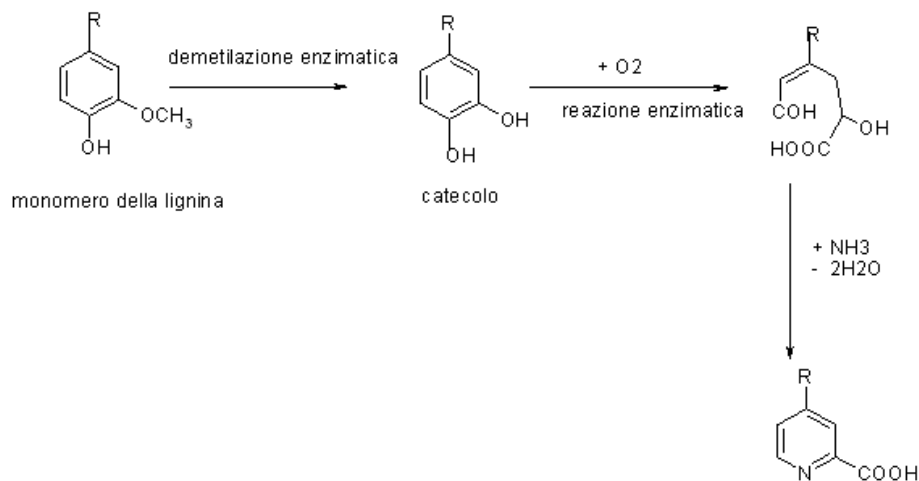


*Compost nella fase intermedia di fermentazione*

Esaurita la frazione organica più fermentescibile, gran parte della popolazione microbica muore e si instaura la competizione per l'acquisizione del substrato residuo, in particolar modo della lignina e della cellulosa.

La biodiversità comincia a ridursi e il cumulo viene attaccato da organismi caratterizzati da vita breve ed elevata velocità di riproduzione. Microrganismi specifici portano avanti l'umificazione, la cui fase più significativa è rappresentata dalla polimerizzazione ossidativa degli **acidi fenolici e dei fenoli ottenuti dal catabolismo della lignina, dei tannini e dei polifenoli.**

### REAZIONE DI UMIFICAZIONE



L'ammoniaca formatasi durante la reazione di decomposizione reagisce con la lignina per formare gli acidi umici (anelli piridinici della lignina). La reazione è sempre aerobica ma lenta.

A questo stadio, la temperatura del cumulo si abbassa fino al valore di quella dell'ambiente; il compost ha assunto una colorazione scura, produce pochi odori e le particelle hanno dimensioni e ridotte rispetto a quelle di partenza. Il cumulo presenta una riduzione del volume della biomassa iniziale che è dovuta alla evaporazione dell'acqua e alla perdita di  $CO_2$  a seguito dei processi di mineralizzazione di alcune frazioni organiche.

Pur verificandosi anche perdite di azoto sotto forma di ammoniaca, la maggior parte dei nutrienti non viene persa dalle matrici sottoposte al processo ma si ritrova nel compost legata, soprattutto, ai composti organici stabili.

**Ciò, riducendo l'immediata disponibilità dei fattori di fertilità per le piante, fa sì che il compost agisca come ammendante a lento e graduale rilascio.**

I microrganismi responsabili del processo attingono l'energia, necessaria per la loro crescita e per le attività di sintesi, dalla rottura dei legami chimici delle diverse sostanze. Parte dell'energia chimica è trasformata in calore, che determina l'innalzamento della temperatura del substrato e viene dissipato nell'atmosfera. Per evitare ulteriori innalzamenti di temperatura che provocano l'inattivazione della maggior parte dei microrganismi, si effettuano dei **rivoltamenti, favorendo, in tal modo, il raffreddamento del substrato.**



*Gli studenti procedono al rivoltamento della massa in fermentazione*

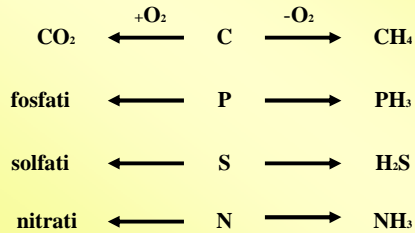
Con il procedere del compostaggio, l'elevata attività metabolica e la natura esotermica dei processi, producendo, come si è visto, un innalzamento della temperatura della massa, determinano un'accentuata selezione microbica a vantaggio di specie di batteri termofili sporigeni e non sporigeni (che attaccano le proteine, i carboidrati non cellulose e, probabilmente, i lipidi) e di attinomiceti e funghi termofili.

Allorchè la biomassa in compostaggio torna a raffreddarsi, i microrganismi sporigeni, le specie termofile e, successivamente, quelle mesofile, si riattivano e reinvasano il cumulo.

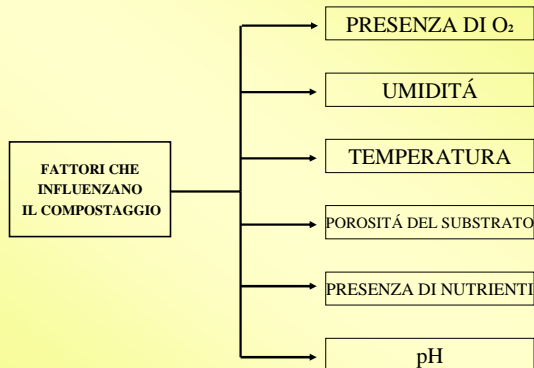
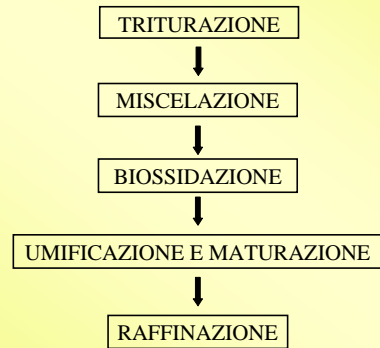
Negli stadi finali del processo, si diffondono anche protozoi, acari ed insetti, che vivono a spese della matrice organica e delle cellule microbiche.

## PROCESSI DEGRADATIVI DELLA MATERIA ORGANICA

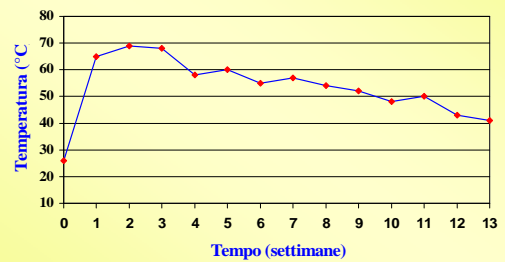
Degradazioni aerobiche      Degradazioni anaerobiche



## FASI DEL COMPOSTAGGIO

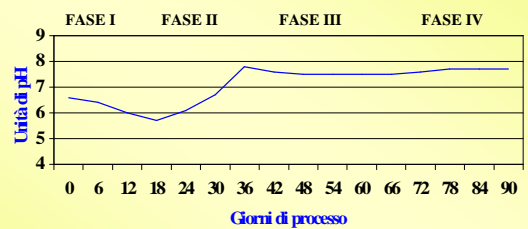


## ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA NEL CORSO DEL PROCESSO DI COMPOSTAGGIO



Gli allievi misurano mediante un termometro con sonda la temperatura del compost

## ANDAMENTO DEL pH NEL CORSO DEL PROCESSO DI COMPOSTAGGIO



FASE I—Fase acidogena dovuta all' intensa produzione di CO<sub>2</sub> e di acidi organici all'inizio della fase termofila  
 FASE II—Fase alcalina, con idrolisi batterica dell'azoto proteico ed organico e produzione di ammoniaca  
 FASE III—Fase di stabilizzazione del pH con perdita dell'azoto in eccesso ed inizio della fase di umificazione  
 FASE IV—Fase di maturazione, lenta e con pH stabile

Dopo una prima fase in cui si ha un innalzamento repentino della temperatura segue una fase di maturazione in cui la temperatura si stabilizza e raggiunge alla fine del processo un valore pari alla temperatura ambiente.

Dalle misure di pH eseguite sul compost mediante un pHmetro per misure di pH nel terreno si sono effettivamente rilevate 4 fasi in funzione del pH così come illustrato nel grafico sopra riportato:

- FASE I Fase acidogenica dovuta all' intensa produzione di CO<sub>2</sub> e di acidi organici all'inizio della fase termofila
- Fase II Fase alcalina con idrolisi batterica dell'azoto proteico ed organico e produzione di ammoniaca
- Fase III Fase di stabilizzazione del pH con perdita dell'azoto in eccesso ed inizio della fase di umificazione
- Fase IV Fase di maturazione, lenta e con pH stabile

Il processo di compostaggio può essere suddiviso quindi in due fasi:

- Fase attiva di biossidazione accelerata in cui sono più rapidi ed intensi i processi degradativi a carico delle componenti organiche maggiormente fermentescibili; in questa fase si raggiungono elevate temperature, occorre drenare l'eccesso di calore e si ha un'elevata richiesta di ossigeno necessaria per le reazioni biochimiche
- Fase di maturazione in cui si completano i fenomeni degradativi a carico delle molecole meno reattive ed in cui intervengono reazioni di trasformazione e polimerizzazione della lignina che portano alla sintesi delle sostanze umiche. Le esigenze di drenaggio di calore e quelle di adduzione di ossigeno al sistema sono minori rispetto alla fase attiva.

I fattori principali di controllo del processo che garantiscono le ottimali condizioni di sviluppo della microflora e che consentono di accelerare le reazioni di decomposizione e trasformazione sono:

- Concentrazione di ossigeno : la permanenza a livelli superiori al 15% garantisce una condizione di perfetta aerobiosi indispensabile per il metabolismo batterico; ciò consente di ridurre i fenomeni putrefattivi.
- Temperatura: la temperatura si innalza come conseguenza del calore biogeno sviluppato dai processi degradativi; il suo accumulo nella massa dipende dall'equilibrio tra :
  - ✓ Sviluppo di calore (legato alla fermentescibilità)
  - ✓ Dispersione di calore ( legato alla dimensione della massa e alla sua umidità)



*Determinazione dell'umidità nel compost*



*Determinazione dei fosfati nel compost (metodo al blu di molibdeno) con lo spettrofotometro.*

## Considerazioni sul processo di Compostaggio

Nonostante il valore particolarmente basso del pH del pastazzo (circa 3), questo parametro ha raggiunto valori medi di 6 e 6,5 già nella fase di miscelazione stabilizzandosi alla fine intorno ad un valore di 8 - 8,5. (Grafico 1)

Come evidenziato poi nel Grafico 2 il rapporto C/N è decresciuto rapidamente durante il periodo di tempo preso in considerazione, circa 4 settimane, dando un'ulteriore indicazione dell'andamento regolare del processo di trasformazione della sostanza organica.



Grafico 1

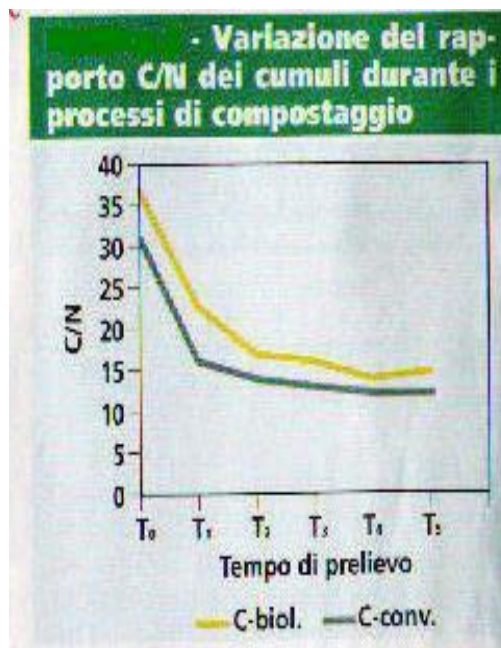


Grafico 2

I dati analitici relativi ai parametri dell'umificazione e alle prove di mineralizzazione della sostanza organica hanno confermato questo andamento.

Il tasso di umificazione infatti è aumentato progressivamente durante il processo di compostaggio, raggiungendo valori (circa il 46%) alquanto elevati.

Le prove di mineralizzazione della sostanza organica dei campioni di compost, simulando in laboratorio un intervento di ammendamento, sono risultate estremamente utili nel dare un'indicazione del livello di fermentescibilità della sostanza organica e, di conseguenza, del livello di stabilità biologica raggiunto dai campioni analizzati.

Il compost ottenuto alla fine del processo non contiene residui visibili delle matrici di partenza e si presenta di colore scuro, omogeneo e di granulometria fine.

In tabella n.2 sono stati riportati i dati chimico-fisici di maggiore interesse del compost e alcuni parametri, quali il contenuto in ceneri, in macroelementi e la conducibilità elettrica, che consentono delle valutazioni sulle potenziali destinazioni d'uso dell'ammendante prodotto.

PARAMETRO	C.-Conv.	C.-Biol.	Circolare MIPAF n.8/99
pH	8,4	8,5	8,5
Ceneri (%)	37,5	24,6	-----
C org. totale (%)	31	38	>25
N totale (%)	2,8	2,5	-----
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	2,3	0,7	-----
C/N	12	15	<25
Cd totale (mg/kg)	1,5	<0,5	1,5
Hg totale (mg/kg)	<0,1	<0,1	1,5
Zn totale (mg/kg)	320	99	500
Pb totale (mg/kg)	10	13	140
Conduc. elettrica (mS/cm)	2,08	1,78	-----

*Tab.2- Parametri chimico fisici del compost e limiti di legge*

.....

## Conclusioni e prospettive

I risultati analitici ottenuti indicano che i compost prodotti con i residui dell'industria agrumaria hanno delle caratteristiche di elevata qualità ambientale ed agronomica, rientrando ampiamente nei restrittivi limiti imposti dalle normative relative agli ammendanti organici.

E' bene inoltre sottolineare che è possibile, utilizzando le matrici consentite dalla normativa, produrre compost da impiegare in agricoltura biologica e far fronte alle richieste pressanti di sostanza organica, che provengono da questo settore produttivo in forte crescita.

Il monitoraggio del processo, durante la prova di compostaggio, attraverso un attento controllo della biomassa e la rilevazione dell'*umidità*, della *temperatura* e *l'analisi della stabilità della sostanza organica*, ha messo in evidenza che la trasformazione della sostanza organica è avvenuta in maniera continua e regolare.

Ciò lascia presupporre che la realizzazione di questa tipologia di compost a livello industriale possa avvenire in tempi ristretti e senza alcun problema tecnologico.

Per queste tipologie di materiali, inoltre, non esistono problematiche ambientali e di accettazione da parte della popolazione per emissione di odori sgradevoli, il che renderebbe la realizzazione di impianti di compostaggio molto più agevole.

I risultati ottenuti si possono, pertanto, considerare molto interessanti e pongono le basi per affrontare le problematiche del riciclo di altri rifiuti dell'industria agroalimentare da co-compostare con il pastazzo, come la *sansa esausta*, proveniente da processi di estrazione dell'olio, e il *mercatale*.

A livello di comprensorio, la chiusura del ciclo aperto dalla filiera agrumicola mediante la realizzazione di una filiera di riciclo, potrebbe diventare in futuro qualcosa di più di una semplice ipotesi di gestione degli scarti agroalimentari.

Il compostaggio del pastazzo, opportunamente additivato con i macerati di erbe, radici e arbusti dalle proprietà antiparassitarie e diserbanti, offre vantaggi ecologici, agronomici e socio economici.

Con la somministrazione di compost, infatti, si favorisce il ritorno al terreno di sostanza organica umificata e di elementi nutritivi, con la chiusura dei loro cicli bio-geo-chimici.

Da ciò si evince un triplice aspetto positivo:

- l'eliminazione e l'allontanamento degli scarti agro-industriali;
- il recupero nei suoli della fertilità organica e chimica;
- il potenziamento della capacità dell'ammendante di eliminare i parassiti infestanti, animali e vegetali.

Si consente così di recuperare e valorizzare i residui organici che diversamente richiederebbero opportune soluzioni di gestione e di smaltimento.



*Compost alla fine del processo*



*I lombrichi, (molto utili in un terreno agricolo)  
vengono attirati dal compost*

Concludendo, si può a ragione affermare che il compostaggio è un processo che , alla relativa semplicità di attuazione abbina un costo del prodotto finale da commercializzare molto contenuto, dell'ordine di qualche euro al kilogrammo.

.....