

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

Dipartimento di Agraria

**Tesi sperimentale per il conseguimento del titolo di Dottore di ricerca in  
“Valorizzazione e gestione delle risorse agro-forestali”**

***ASPETTI PRODUTTIVI ED EFFETTI SUL TERRENO, CON  
PARTICOLARE RIFERIMENTO AL BILANCIO DELL'AZOTO, DI  
UN AMMENDAMENTO PLURIENNALE CON COMPOST DA  
F.O.R.S.U. IN UNA SUCCESSIONE ORTICOLA DI PIENO CAMPO***

**Docente tutore:**

Ch.mo Prof. Mauro Mori

**Candidato:**

Dott. Gaetano Pizzolongo

**Docente cotutor:**

Ch.mo Dott. Luigi Morra

**Coordinatore:**

Ch.mo Prof. **Guido D'Urso**

**XXVI Ciclo (2010-2013)**

## Premessa

Il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile e, a partire dagli anni '50, molti dei cambiamenti osservati sono senza precedenti su scale temporali che variano da decenni a millenni. L'atmosfera e gli oceani si sono riscaldati, le quantità di neve e ghiaccio si sono ridotte, il livello del mare si è alzato, e le concentrazioni di gas serra sono aumentate. In particolare con lo sviluppo delle attività umane si è assistito ad una notevole distruzione delle fonti di carbonio fossile e al conseguente forte aumento delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera.

Le dotazioni di carbonio libero sulla terra sono quelle riportate in figura 1.

## Free carbon\* supplies on the Earth (G tons) Lal, 1997; Zucconi 1999)

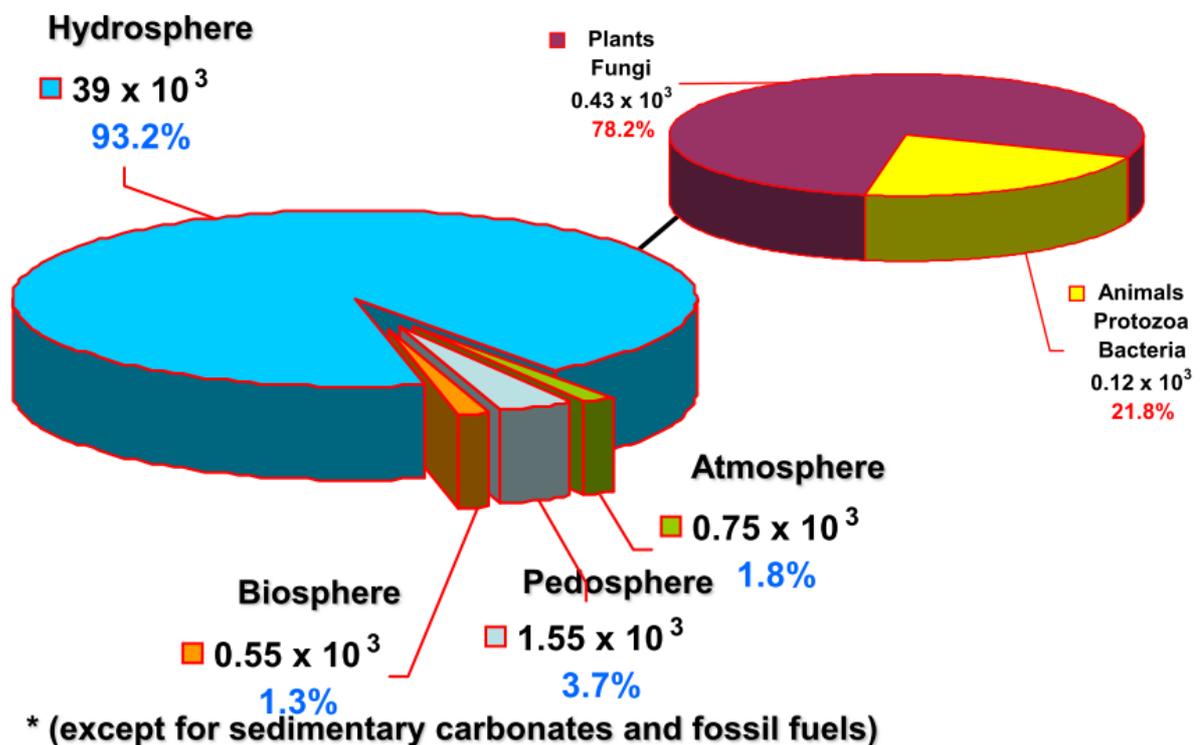


Fig. 1 – Dotazioni di carbonio libero sulla terra

Dal 1971 ad oggi si è avuto un aumento della concentrazione di anidride carbonica in atmosfera da 330 ppm a 400 ppm con un aumento di circa 1,7 ppm all'anno. Gli attuali ritmi di crescita delle emissioni non lasciano intravedere nulla di buono all'orizzonte. Se si mantenesse l'attuale ritmo di crescita delle emissioni si arriverebbe ad avere nel 2057 una quantità di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera pari a circa 800 ppm con un aumento

della temperatura di circa 5°, se si mantenesse l'attuale ritmo di crescita ma si adottassero delle strategie di riduzione si arriverebbe a concentrazioni di 525 ppm con un aumento della temperatura di circa 3°, mentre se si riducesse l'attuale ritmo di crescita e si adottassero strategie di riduzione si arriverebbe a 450 ppm di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera con un aumento di circa 2° della temperatura (National Geographic, 2007). Di conseguenza già da diversi anni si è dovuti ricorrere ad iniziative volte a porre rimedio ad una situazione che sta diventando critica. La prima vera grande iniziativa in tal senso fu il Summit della Terra, tenutosi a Rio de Janeiro dal 3 al 14 giugno 1992, la prima vera conferenza mondiale dei capi di Stato sull'ambiente. Vi parteciparono 172 governi e 108 capi di Stato o di Governo e 2.400 rappresentanti di organizzazioni non governative. Gli argomenti trattati furono l'esame sistematico dei modelli di produzione, in particolare per limitare la produzione di tossine, come il piombo nel gasolio o i rifiuti velenosi, le risorse di energia alternativa per rimpiazzare l'abuso di combustibile fossile ritenuto responsabile del cambiamento climatico globale, un quadro sui sistemi di pubblico trasporto con il fine di ridurre le emissioni dei veicoli, la congestione nelle grandi città e i problemi di salute causati dallo smog, la crescente scarsità di acqua. Un importante risultato della conferenza fu un accordo sulla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici che a sua volta portò, alcuni anni dopo, alla stesura del protocollo di Kyōto.

Il protocollo di Kyoto è un trattato internazionale in materia ambientale riguardante il riscaldamento globale sottoscritto nella città giapponese di Kyoto l'11 dicembre 1997 da più di 180 Paesi in occasione della Conferenza COP3 della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC). Il trattato è entrato in vigore il 16 febbraio 2005, dopo la ratifica anche da parte della Russia e l'estensione del protocollo si è prolungata fino al 2020 anziché alla fine del 2012 come previsto inizialmente.

Il trattato prevede l'obbligo di operare una riduzione delle emissioni di elementi di inquinamento (biossido di carbonio ed altri cinque gas serra, ovvero metano, ossido di azoto, idrofluorocarburi, perfluorocarburi ed esafluoruro di zolfo) in una misura non inferiore all'8% rispetto alle emissioni registrate nel 1990 – considerato come anno base – nel periodo 2008-2013.

Premesso che l'atmosfera terrestre contiene 3 milioni di megatonnellate (Mt) di CO<sub>2</sub>, il protocollo prevede che i Paesi industrializzati riducano del 5% le proprie emissioni di questo gas. Le attività umane immettono 6.000 Mt di CO<sub>2</sub>, di cui 3.000 dai Paesi industrializzati e 3.000 da quelli in via di sviluppo; per cui, con il protocollo di Kyoto, se ne dovrebbero immettere 5.850 anziché 6.000, su un totale di 3 milioni. Ad oggi, 174 Paesi e un'organizzazione di integrazione economica regionale (EEC) hanno ratificato il protocollo o hanno avviato le procedure per la ratifica. Questi Paesi contribuiscono per il 61,6% alle emissioni globali di gas serra.

Più recentemente, nel 2012 le Nazioni Unite hanno tenuto a Rio de Janeiro la Conferenza sullo sviluppo sostenibile, anche nota come Rio+20, in quanto tenutasi in occasione dei 20 anni del Summit della Terra organizzato dall'UNCED (United Nations Conference on Environment and Development) nella città del Brasile. Rio+20 rappresenta il completamento di una serie di conferenze tenute dalle Nazioni Unite delle quali il Summit della Terra del 1992 è stato il perno centrale, ponendo lo sviluppo sostenibile come priorità dell'agenda delle Nazioni Unite e della Comunità Internazionale. Gli obiettivi della conferenza sono stati rinnovare l'impegno allo sviluppo sostenibile, valutare le lacune e riconoscere e affrontare le nuove sfide mentre gli argomenti centrali trattati sono stati la Green economy all'interno dello sviluppo sostenibile ed il quadro istituzionale per lo sviluppo sostenibile.

L'ultimo rapporto dell'Intergovernmental Panel Climate Change (IPCC) del 2014 ha ribadito ancora una volta che la responsabilità dei cambiamenti climatici è da attribuire alle attività umane con una certezza di almeno il 95%.

Nel recente meeting di Settembre 2014 a Stoccolma si è appurato che ogni anno sulla Terra vi sono emissioni di circa 50 bilioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente. Per mantenere l'incremento della temperatura globale attorno ai 2°, fino alla fine di questo secolo ci dovrebbero essere emissioni di anidride carbonica equivalente comprese tra 820 e 1445 bilioni di tonnellate. Le temperature globali sono probabilmente destinate ad aumentare da 0,3 a 5 gradi centigradi di qui alla fine del secolo. Ci si aspetta che il livello del mare aumenti di altri 26 – 82 cm di qui al 2100. Gli oceani sono stati acidificati avendo assorbito circa un terzo dell' anidride carbonica emessa. Le emissioni totali pro capite di gas serra nei vari posti del mondo sono indicati in tabella 1.

## Total and per capita GHG emissions in various country

(source: UNFCCC, EEA, DIW Berlin, World Bank )

	Total emissions (Mt CO <sub>2</sub> eq)		Per capita emissions (t CO <sub>2</sub> eq/year)
	1990	2010	2010
Australia	259	583	26.8
Canada	421	681	20.2
USA	4,844	6,479	21.1
Arabia Saudita	160	186	24.1
<b>EU</b>	<b>3,152</b>	<b>4,565</b>	<b>9.0</b>
Sud Africa	291	589	11.9
Cina (+ Hong Kong)	2,389	10,102	7.6
India	595	2856	2.4

Un milione di persone in tutto il mondo ha partecipato il 21 settembre 2014 alla Marcia Globale per il Clima. L'evento faceva parte della giornata di mobilitazione globale "Global Day of Action", promossa da più di 950 associazioni in occasione del Climate Summit (23 Settembre, New York), convocato dal Segretario Generale Ban Ki-moon ai margini della 69esima Assemblea. Obiettivo del Summit discutere, insieme ai Capi di Stato, degli impegni di contenimento delle emissioni in vista dell'**accordo globale sul clima atteso a fine del 2015 nella Conferenza delle Parti di Parigi**. Anche l'Italia dovrà mettere il tema dei cambiamenti climatici come punto prioritario nella propria agenda di governo, e dovrà proporre in Europa la definizione dei nuovi obiettivi al 2030 che prevedono un +40% di risparmio energetico, +45% di fonti rinnovabili e -55% di riduzione di CO<sub>2</sub>

Tre in particolare le richieste partite da Roma: che il tema dei cambiamenti climatici diventi un punto prioritario nell'agenda di Governo, assumendo impegni ambiziosi di **riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>** e degli altri gas serra, a partire da obiettivi efficaci per la lotta ai cambiamenti climatici e in linea con le raccomandazioni dell'Intergovernmental Panel on Climate Change; che l'Italia, in quanto presidente di turno dell'unione europea, si batta per impegni ambiziosi e vincolanti al 2030 ed infine

che l'Italia contribuisca al Fondo Verde per il Clima e mantenga fede agli impegni che erano stati assunti a Copenaghen in tema di finanza per il clima.

Anche l'agricoltura ha un ruolo importante nelle emissioni in atmosfera di gas serra. Se guardiamo alla quantità di anidride carbonica emessa dai vari settori scopriamo che il contributo maggiore alle emissioni è dato dal settore residenziale + terziario (32% delle emissioni totali), seguito dai trasporti (24%), dall'industria (26%), dall'agricoltura e dalla zootecnia (13%) ed infine dai rifiuti (5%). Di conseguenza il ruolo che l'agricoltura potrebbe avere nell'abbattimento generale delle emissioni di gas serra è notevole; si stima che l'agricoltura potrebbe contribuire ad una riduzione del 18% delle emissioni totali di gas serra (GHG), percentuale che potrebbe arrivare addirittura al 33% se consideriamo anche una migliore gestione delle foreste (Smith et al, 2007).

Con le parole "Green carbon" si intende il carbonio fissato nei vegetali mediante la fotosintesi e rilasciato nel suolo sotto forma di residui colturali, sovescio, cover crops, etc. in grado di sequestrare la CO<sub>2</sub> atmosferica incrementando il contenuto di SOC (carbonio organico) del suolo. La Green Carbon Conference, svoltasi ad Aprile del 2014, ha riunito le principali istituzioni internazionali in un tavolo di discussione sull'agricoltura sostenibile ponendosi come obiettivi la sostenibilità delle produzioni agricole, la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> dall'agricoltura, la mitigazione dei cambiamenti climatici, il sequestro della CO<sub>2</sub> nel suolo e l'agricoltura conservativa. Nella stessa direzione vanno i cosiddetti Climate Smart Agriculture (CSA), vale a dire quei modelli di gestione dei sistemi agricoli volti ad aumentare la produzione in modo sostenibile, attraverso la resilienza (adattamento) e la riduzione progressiva dei gas serra (mitigazione). In un progetto più ampio tali pratiche concorrono a promuovere e incoraggiare il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza alimentare nazionale e di sviluppo agricolo. Lo scopo è prevalentemente quello di sviluppare e far uso di tecniche che sappiano coniugare e gestire l'impatto del cambiamento climatico e della progressiva scarsità di risorse naturali. Gli obiettivi di sostenibilità si prefiggono il miglioramento delle condizioni di vita e dei mezzi di sussistenza assicurando la sicurezza alimentare, la sicurezza idrica e la sicurezza energetica. Non sono tralasciati gli aspetti legati alle condizioni di sviluppo che dovrebbero essere garantite e promosse all'interno di ecosistemi sani e produttivi e attraverso sistemi di governance sostenibile. La FAO attraverso il modello "Climate - Smart Agriculture", ha fornito un utile strumento che consente di gestire queste molteplici sfide con mezzi coerenti e integrati. Questo modello di agricoltura suggerisce azioni e criteri che hanno la capacità favorire la sicurezza alimentare, la resilienza al cambiamento climatico e la mitigazione degli effetti in agricoltura. L'adozione di pratiche di CSA consentirà quindi agli agricoltori di tutto

il mondo, e soprattutto a quelli dei paesi in via di sviluppo, di adattarsi al meglio dai cambiamenti climatici in corso, e al contempo di attuare pratiche di mitigazione delle emissioni, ad esempio riducendo le emissioni stesse per unità di prodotto oppure contribuendo allo stoccaggio di carbonio organico nel terreno.

## **Introduzione**

### **Ruolo del carbonio e della sostanza organica**

Fonti: (vedi presentazione brunetti e xyloiannis) + articolo mio e luigi su Italus hortus

La sostanza organica nel terreno va assumendo sempre più il ruolo di “sink” (= pozzo) di carbonio altrimenti disperso in atmosfera come CO<sub>2</sub>. È stato autorevolmente rilevato che uno 0,14% di sostanza organica in più nel suolo (i tenori medi in terreni a buona fertilità dovrebbero essere dell'ordine del 2,5-3 %) equivale a fissare nello stesso una quantità di CO<sub>2</sub> corrispondente alle emissioni complessive dell'intera nazione italiana per un anno! (incluso emissioni industriali, riscaldamento, trasporti, ecc.). Ebbene, le pratiche di fertilizzazione organica continuata nel tempo consentono di mantenere o aumentare il tenore in sostanza organica nel suolo, mentre il loro abbandono determina, per la progressiva mineralizzazione della sostanza organica, un trasferimento netto di carbonio, sotto forma di CO<sub>2</sub>, dal suolo all'atmosfera. In sintesi, il suolo che fissa il carbonio sotto forma di humus a seguito di piani di fertilizzazione organica tramite ammendamento organico, assume un ruolo importante nell'assimilare ulteriore CO<sub>2</sub> sottraendola all'atmosfera (Centemero et al., 2006).

Lo stoccaggio del carbonio organico di origine vegetale nel suolo consente di compensare le emissioni di CO<sub>2</sub> delle attività agricole e non agricole sequestrando la CO<sub>2</sub> atmosferica responsabile dei climate changing sotto forma di carbonio organico del suolo (SOC). La stessa sostanza organica nel suolo (SOM) svolge poi una serie di funzioni ecologiche accessorie essenziali per la produttività e sostenibilità degli agroecosistemi su scala aziendale, nazionale e mondiale.

La fertilità organica nel suolo riveste un ruolo molto importante per le sue numerose e complesse funzioni: essa contribuisce a mantenere lo stato di fertilità globale del suolo

tramite il controllo della maggior parte dei processi chimici, fisici e biologici del sistema suolo; anche se presente in piccola quantità essa entra in tutti i processi e gli equilibri che si verificano nel suolo. La sostanza organica assicura una crescita bilanciata delle piante e dei microrganismi del suolo, contribuisce alla conservazione e protezione del suolo da fattori di disturbo esterni (desertificazione, degradazione per alluvioni e frane, erosione) e dalla contaminazione. . In particolare ha influenza sulle proprietà chimiche del suolo in quanto contribuisce all'aumento della capacità di scambio cationico (C.S.C.) ed anionico (C.S.A.), avendo di per sé una C.S.C. ed un C.S.A. maggiori di quella dei fillosilicati, costituisce una riserva di macro e microelementi per le piante ed ha un effetto buffer sul pH del suolo tanto che si stima che un incremento del 1-3% di SOM equivalga al potere tampone di 3 t/ha di calce. Per quel che riguarda le proprietà fisiche del terreno la SOM aumenta la capacità idrica massima, la stabilità degli aggregati, la porosità e la friabilità e riduce la compattazione; l'acqua disponibile per le piante aumenta da 2 a 3 mm/10cm per ogni incremento dell'1% di sostanza organica. Infine per quel che riguarda le proprietà microbiologiche, la SOM assicura un aumento dell'attività enzimatica e microbica, ha un effetto soppressivo nei confronti di alcuni patogeni del terreno e nei suoli inquinati risulta utilissima per la bioremediation in quanto è in grado di sequestrare e immobilizzare sostanze tossiche.

## Situazione fertilità dei suoli in generale ed in Campania

Per fertilità del suolo si intende la sua capacità di soddisfare le esigenze fisiche, chimiche e biologiche per la crescita della piante, per la loro produttività, riproduzione e qualità, in base al tipo di pianta e di suolo, all'uso della terra ed alle condizioni climatiche (Abbott and Murphy, 2007).

*Definizione di fertilità: Abbott and Murphy, 2007 Capacity of soil to provide physical, chemical and biological needs for the growth of plants for productivity, reproduction and quality, relevant to plant and soil type, land use and climatic conditions*

L'agricoltura intensiva di oggi sta conducendo verso una situazione di progressiva degradazione del suolo con conseguente perdita di fertilità. Tutto questo ha portato alla cosiddetta stanchezza del suolo. Un suolo stanco presenta una condizione di progressiva inospitalità alla reiterazione di una specifica coltura. In frutticoltura, tipicamente, ne deriva un declino dello sviluppo e delle produzioni che resta limitato alla specie in oggetto e influenza poco o nulla specie botanicamente diverse. In queste condizioni il declino riflette un'incapacità della pianta a nutrirsi in un terreno stanco. In orticoltura, invece, l'adozione di varie tecniche colturali (es.: lavorazione accurata del suolo, trapianto piantine in pane di torba, fertirrigazione, etc.) è riuscita a mascherare questi sintomi; pertanto, le manifestazioni patologiche generate da parassiti tellurici sono l'espressione più frequentemente osservata di una condizione di

squilibrio nel suolo. Le cause della progressiva perdita di fertilità del suolo sono da attribuirsi all'intensificazione dell'agricoltura negli ultimi 40-50 anni che ha portato ad una progressiva diffusione della monocoltura, al ricorso sempre più frequente a lavorazioni meccaniche del terreno profonde e ripetute, con conseguente spinta ai processi di mineralizzazione e perdita di sostanza organica; tutto ciò è stato unito alla frequente bruciatura dei residui colturali ed alla sostituzione degli apporti di sostanza organica (letame, sovesci, compost, etc.) con i concimi di sintesi. Tutto ciò ha determinato la progressiva riduzione e l'impoverimento della rete di forme viventi (microflora, meso e macrofauna) capaci di vivere a carico della sostanza organica immessa, trasformandola in humus. L'alterazione del metabolismo della sostanza organica nel suolo, determina, dunque, l'aumento in esso di tossine e un disadattamento delle radici specie se di giovani piantine. Si produce una riduzione della capacità di assorbimento dei nutrienti e una maggiore suscettività all'attacco di parassiti e patogeni viventi nel suolo (Zucconi, 1997). La risposta data al progressivo esplodere di questi problemi è stata più concimazione e impiego di prodotti chimici fumiganti per la sterilizzazione del suolo con la conseguenza di non risolvere ma accentuare la spirale degradativa innescata.

- Specificità climatiche in ambiente Mediterraneo
- Biomasse non adeguatamente riciclate
- Cambiamenti climatici

*Fonti: federal ministry for agriculture of austria 2007, strategia tematica protezione suolo UE, guida concimazione regione campania, (vedi presentaz Morra, Ferri, Xyloyannis)*

E'importante chiedersi quale sia il livello minimo di sostanza organica del suolo al di sotto del quale si innesca un processo di degradazione del suolo. Secondo quanto riferito nella Strategia tematica per la Protezione del suolo della UE è indicato un contenuto-soglia del 2% (=20 g/kg) di C organico pari a circa il 3,4 % di sostanza organica. Secondo la tabella riportata nella Guida alla Concimazione della Regione Campania, le soglie sono spesso diverse e inferiori a quelle riportate dall' UE

Tabella 9. Dotazione indicativa (g/kg) in carbonio organico di un suolo in funzione della sua tessitura

Dotazione	Classi tessiturali USDA					
	sabbioso sabbioso-franco franco-sabbioso		franco franco-sabb.-argilloso franco-limoso argilloso-sabbioso limoso		argilloso franco-argilloso argilloso-limoso franco-arg.-limoso	
	carbonio organico (g/kg)	sostanza organica (g/kg)	carbonio organico (g/kg)	sostanza organica (g/kg)	carbonio organico (g/kg)	sostanza organica (g/kg)
scarsa	< 7	< 12	< 8	< 14	< 10	< 17
normale	7-9	12-16	8-12	14-21	10-15	17-26
buona	9-12	16-21	12-17	21-29	15-22	26-38
molto buona	> 12	> 21	> 17	> 29	> 22	> 38

## 1.2 Evidenze territoriali sulla perdita di fertilità dei suoli

Il contenuto di sostanza organica nei suoli naturali, non antropizzati può essere molto vario. I suoli più dotati di SO nei primi 15, 20 cm della superficie del suolo, sono le praterie, intorno al 5-6% (valore ottimale di sostanza organica affinché essa possa esercitare al meglio le sue funzioni); nei suoli poco evoluti (suoli di montagna e deserti) si scende al disotto dell'1%; si tratta di suoli più esposti a fenomeni di degradazione, di erosione e quindi meno fertili. I suoli torbosi hanno un contenuto di sostanza organica che supera il 10% e può raggiungere valori esagerati di oltre il 50-60%. Si tratta di suoli che si sono sviluppati su depositi organici (depositi torbosi) presenti in varie zone del mondo. Il contenuto eccessivo di SO può rappresentare un handicap e limitare l'effetto positivo sulla fertilità dei suoli. Nei terreni comuni il contenuto varia dall'1 al 5%. Le cosiddette terre rosse pugliesi contengono circa il 1-2% di SO, percentuali quindi al disotto della quantità ideale. (brunetti)

Una recente indagine di Bonanomi et al. (2011) condotta in un numero di campioni di suoli sotto serre della Piana del Sele (SA) ha descritto attraverso un'ampia serie di parametri il degrado in corso della fertilità di quei suoli. È stata registrata una diminuzione del 24% del C organico totale, un incremento del contenuto di Sodio e della conducibilità elettrica, una diminuzione di diverse attività enzimatiche collegate con il ciclo di alcuni nutrienti, la riduzione della diversità tassonomica e funzionale delle comunità microbiche oltre che della loro biomassa. (morra agritransfer). In particolare si è stimato che la quantità di sostanza organica presente nei suoli del Sud Italia sia compresa nel range 0,8 – 1,3%. (Xyloiannis)

Nei suoli naturali il ciclo di C legato alle condizioni pedoclimatiche fa sì che il contenuto di CO nel suolo rimanga inalterato nel tempo. Le parti della vegetazione presente (dopo la morte) cadono sul suolo e formano sostanza organica che viene riciclata in continuazione, contribuendo al mantenimento della fertilità che favorisce la crescita di altre piante che poi muoiono di nuovo

e quindi il contenuto di sostanza organica in questi suoli rimane pressoché costante. Nei suoli coltivati questi cicli naturali vengono interrotti perché la SO viene asportata (raccolti) o viene mineralizzata con una maggiore velocità (ad es. con le lavorazioni del terreno).

## Metodi per preservare ed aumentare sostanza organica nel suolo

*Fonti: Presentazione relatori arpra Stallone*

Alla luce di quanto esposto emerge chiaramente la necessità di adottare pratiche che mirino alla salvaguardia ed all'aumento del contenuto di sostanza organica nel suolo. Per preservare il contenuto di sostanza organica del suolo si deve mirare ad un'agricoltura di tipo conservativo, vale a dire un sistema di gestione del suolo, dell'ambiente e della biodiversità in cui si cerca di riportare l'agro-ecosistema alla produttività e alla funzionalità dell'originarie. Questo tipo di agricoltura prevede una riduzione delle lavorazioni del suolo che viene di conseguenza disturbato solo in minima parte; il rimescolamento del suolo avviene sostanzialmente in modo naturale ad opera di radici, lombrichi e meso-fauna; non va praticata la monocoltura ma attraverso la diversificazione colturale si restituisce al terreno un elevato input di biomassa diversificata; non va lasciato il suolo nudo ma si attua una copertura permanente del suolo. Attraverso le lavorazioni conservative (no-till e minimum-till) si stima che si possa arrivare ad una fissazione di 2 Gg/ha/anno di C, oltre ad ottenere una riduzione dell'erosione, del run-off, del consumo di carburante ad ettaro (50% in meno), delle ore di lavoro ad ettaro, degli apporti di azoto (fino al 50% in meno), fosforo e potassio; infine si otterrebbe una maggiore velocità di infiltrazione dell'acqua grazie ai macrobiopori verticali (?) ed un aumento del numero di lombrichi per metro quadro.

Per aumentare invece il contenuto di sostanza organica del suolo i metodi a disposizione sono una riduzione degli output ed un aumento degli input di carbonio nel suolo.

Per ridurre gli output di carbonio dal suolo i metodi sono due:

- Riduzione n° e intensità delle lavorazioni (evitare le arature profonde) mediante semina su sodo o minima lavorazione (es. strip-till o erpicatura)
- Pacciamare il terreno quando possibile
- Sistemazione del suolo in ambienti aridi (es. ridge till)

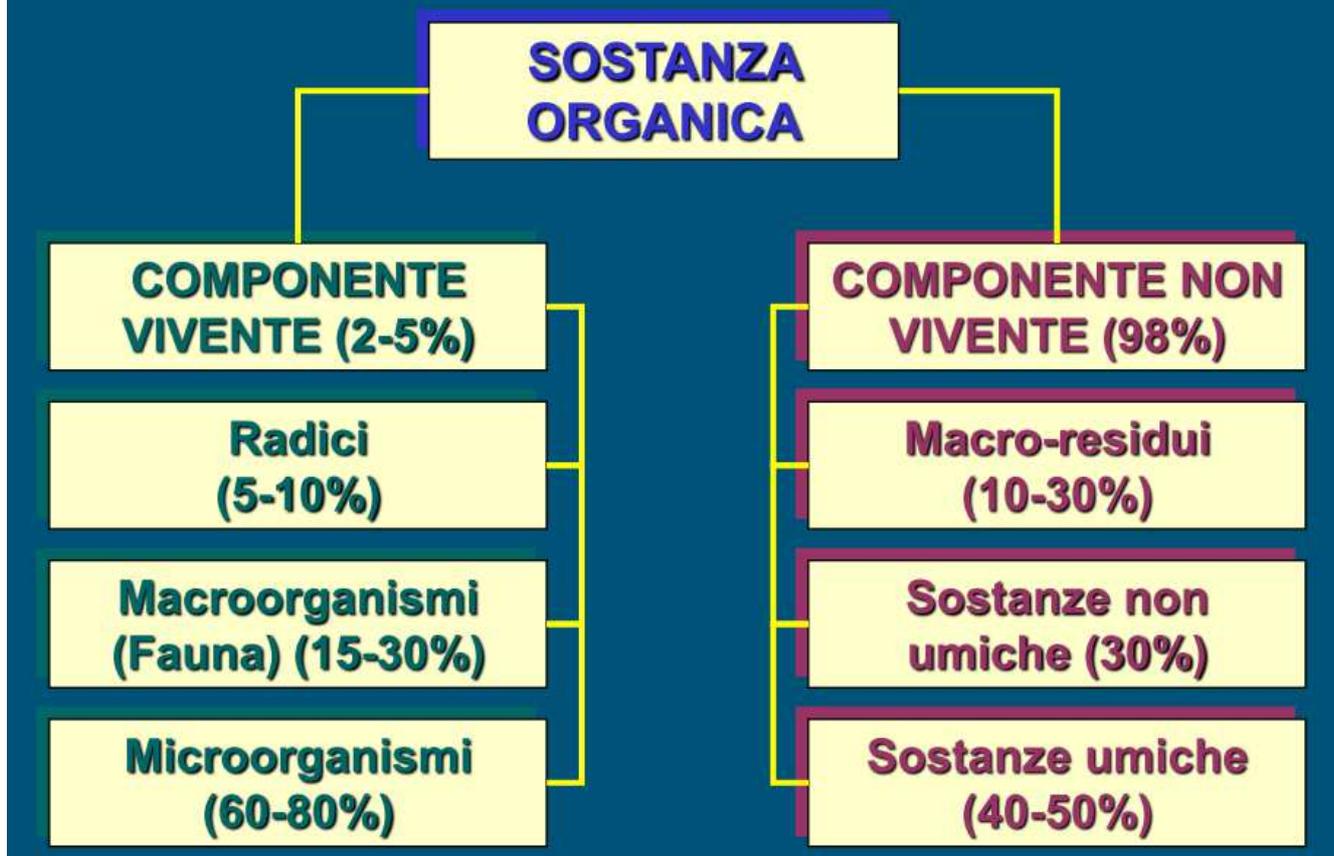
Per aumentare gli input di carbonio nel suolo i metodi sono i seguenti:

- Copertura continua del suolo con specie vegetali intercalari (cover crops e catch crops) e residui colturali
- Greening e forestazione, ovvero pascoli e prati permanenti, set aside ecologico ed agricoltura biologica.
- Rotazioni colturali complesse
- Buffer strip, ovvero fasce di vegetazione generalmente seminativi che hanno la funzione di trattenere il terreno dall'erosione
- Utilizzo di ammendanti organici

## **Ciclo della sostanza organica**

La sostanza organica nel suolo ha una costituzione mista come riportato in figura x

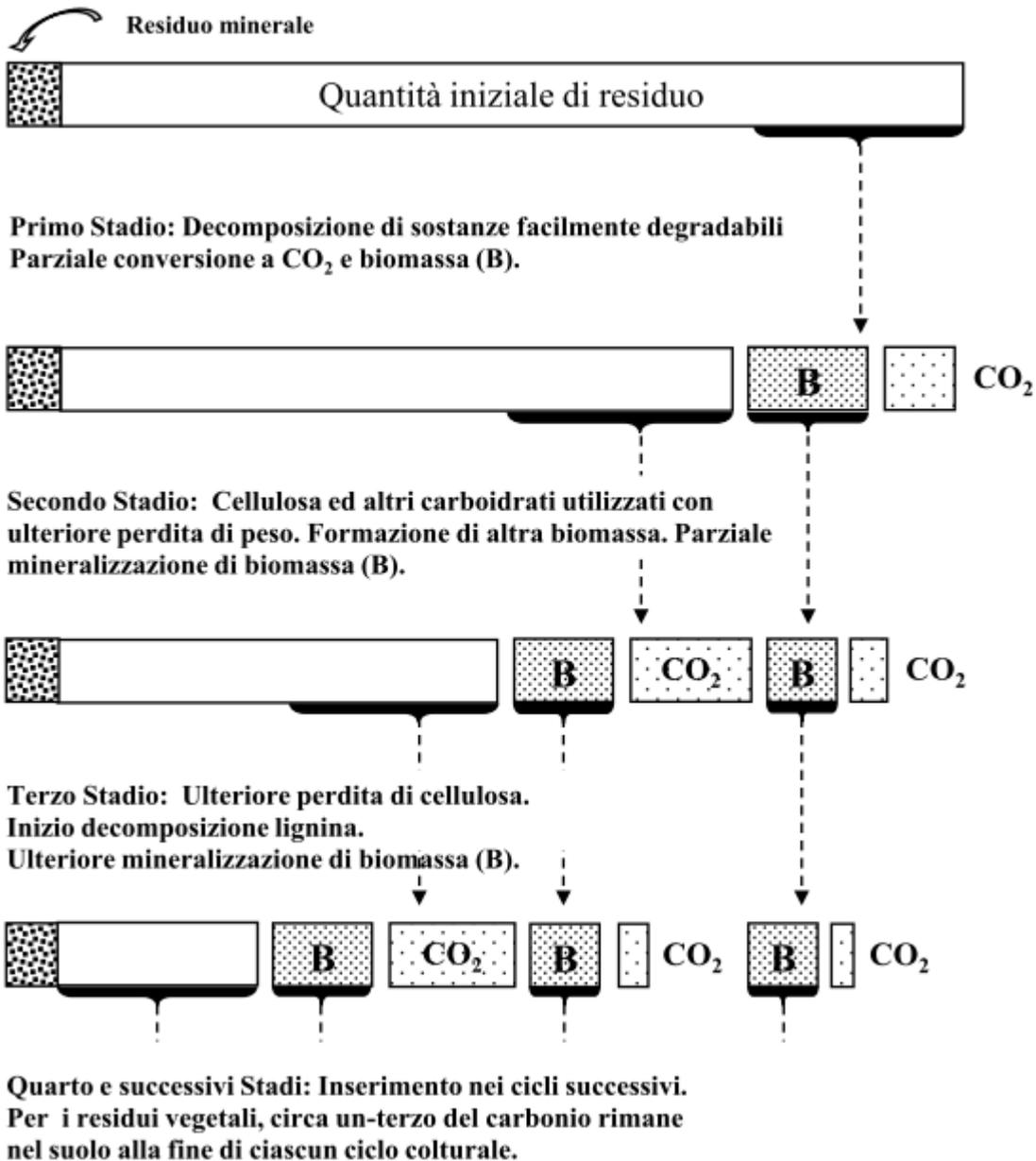
## IL CICLO DELLA SOSTANZA ORGANICA



La componente vivente, rappresenta il 2-5% del totale ed è costituita in prevalenza da microorganismi (60-80%) oltre che da macroorganismi (15-30%) e radici (5-10%); la componente non vivente, il restante 95-98%, è costituita da sostanze umiche (40-50%), sostanze non umiche (30%) e macro-residui (10-30%). Gli apporti organici al suolo derivano essenzialmente dall'attività biologica di macro- e micro-organismi animali e vegetali, dai loro residui post-mortali e dai loro prodotti a vari stadi di decomposizione. In particolare gli apporti vegetali possono essere costituiti da secrezioni radicali, sostanze mucillaginose (mucillagini e mucigel), spoglie radicali (20-50% fotosintetati radicali) e da foglie e residui dell'apparato aereo; gli apporti di origine animale possono essere costituiti da deiezioni e spoglie; gli apporti da microorganismi sono essenzialmente prodotti extracellulari e spoglie.

I materiali che arrivano al suolo non sono stabili; finché era attaccata alla pianta nell'organismo vegetale vivente la foglia svolgeva le sue funzioni ma una volta staccata dalla pianta ed arrivata al suolo essa si trasforma come il suolo vuole. Questa sostanza fresca quindi è soggetta a processi fisici, chimici e biochimici presenti nel suolo. Questi materiali organici possiedono una composizione chimica e strutturale molto diversa e dipendente dall'origine: proteine, aminoacidi, lipidi, grassi, carboidrati, DNA, cellulosa, emicellulosa, etc.

Le reazioni di trasformazione sono fondamentalmente di tipo chimico anche se operate dai microrganismi e sono pertanto definite reazioni biochimiche o biologiche. La sostanza organica che arriva al suolo, viene aggredita dai microrganismi che la utilizzano per le loro funzioni vitali. Gli stessi microrganismi dopo la morte diventeranno cibo per altri microrganismi. La trasformazione della SO avviene attraverso una serie di stadi. I primi componenti organici ad essere trasformati, decomposti, sono quelli più semplici, cioè con una struttura molecolare più semplice. I microrganismi attaccheranno (mangeranno) prima gli zuccheri semplici, i prodotti strutturalmente più semplici. Passeranno poi a prodotti più resistenti, l'emicellulosa, cellulosa. Quando anche questi composti termineranno i microrganismi si nutriranno di prodotti con strutture sempre più complesse e quindi più resistenti e meno graditi: cere, lignina, resine. Da un punto di vista della dinamica delle trasformazioni fisiche, chimiche e biologiche, la sostanza organica del suolo si può dividere in frazione labile e frazione stabile. La decomposizione della SO avviene per stadi successivi che hanno anche una durata diversa. Infatti mentre per i prodotti semplici vengono degradati nel giro di qualche ora o qualche giorno i prodotti via via più complessi (emicellulosa e cellulose) vengono degradati più lentamente (qualche settimana). Per i prodotti più resistenti sono necessari mesi per la loro demolizione. Dall'azione dei microrganismi vengono fuori 3 tipologie di prodotti. Gran parte della sostanza organica viene bruciata viene respirata, viene utilizzata per l'energia dei microrganismi (mineralizzazione) cioè trasformata in anidride carbonica, acqua, azoto, composti semplici e volatili. Una seconda parte viene somatizzata dai microrganismi nei loro tessuti (utilizzata per lo sviluppo, crescita). Una terza parte, (più recalcitrante, resistente) non viene utilizzata. In ognuno degli stadi visti, la SO viene in parte mineralizzata (bruciata), in parte somatizzata (trasformata in altri composti organici prima o poi rilasciati), in parte rimane nel suolo. Al termine di questi stadi nel suolo c'è un residuo di SO che: per metà risale alla SO fresca, 10-15% (rimasta inalterata); l'altra metà è stata prodotta dalla rielaborazione dei microrganismi 10-15% (alcoli, fenoli, ecc.); il resto è stato bruciato, mineralizzato 70-80%.



(BRUNETTI)

Partendo da un contenuto in SO pari a 100 , col passare di giorni la quantità arriva al 20-30%. Tutto il resto è stato bruciato (mineralizzato). Questo 20-30% si può scindere in due curve, la curva gialla è la curva della sostanza organica fresca vera e propria che dopo un po' di tempo arriva al 10-15%. La curva rossa è l'andamento dei prodotti della rielaborazione dei microrganismi che all'inizio sono pari a zero ma poi dopo qualche giorno raggiungono un massimo e poi arrivano anch'essi fino ad un 10-15%. Questo 20-30% di CO si trasformerà in humus ... il restante 70-80% è stato bruciato. Questo andamento è uguale per tutti i tipi di sostanza organica in qualunque di suolo del mondo. I processi sono sempre gli stessi... ciò che varia è la velocità dei processi che dipende dalla diversa composizione della sostanza organica e, soprattutto dal differente clima (più caldo o più freddo, più o meno umido..) I fattori ambientali possono cambiare i tempi ma non i

processi. I residui recalcitranti della SO fresca (lignine, cere, resine) rappresentano un substrato su cui si legano quei piccoli composti organici acidi, fenoli prodotti dai microrganismi. Da questa ricombinazione si ottengono dei prodotti organici nuovi che si chiamano sostanze umiche. Fotografando la sostanza organica del suolo troverò tre grandi classi di sostanza organica.

- Sostanza organica fresca: sia di origine animale che soprattutto vegetale.
- Sostanza organica in via di decomposizione suddivisa in tre sottoclassi:
  - materiale residuo, non ancora decomposto
  - prodotti della decomposizione dei microrganismi che hanno già decomposto una parte di quella sostanza
  - composti intermedi; sono gli intermedi di decomposizione che non sono né residui né prodotti dell'attività microbica.
- Sostanze umiche: sostanza organica tipica del suolo

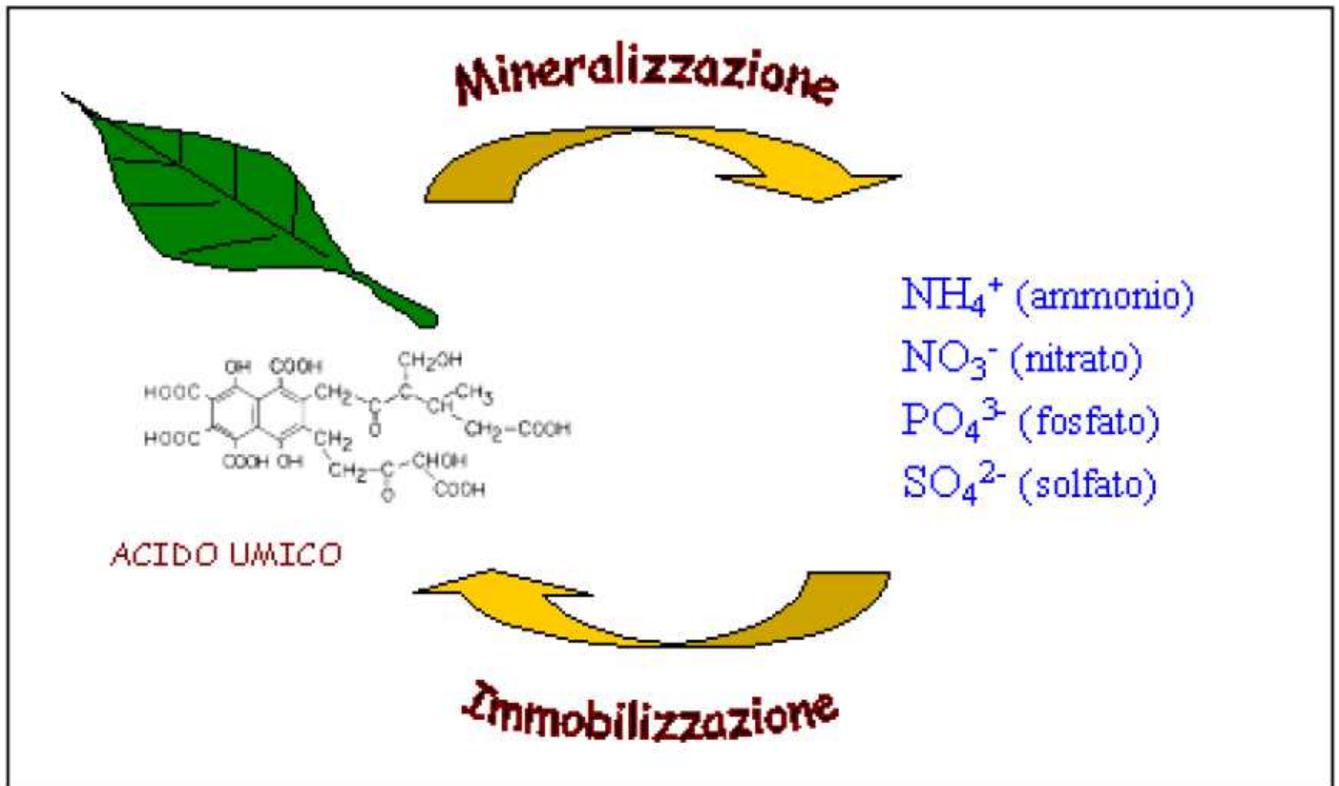
Nonostante l'importanza della sostanza organica, la sua chimica e reattività non sono ancora ben conosciute e molte delle sue proprietà chimico-fisiche non sono state descritte in maniera sufficientemente rigorosa, probabilmente per la grandissima variabilità ed eterogeneità chimica dell'humus che ne fa parte. Tuttavia gli aspetti chimici dell'humus sono stati oggetto di ricerca già dagli albori della chimica moderna tanto che già nel 1786 Harchard riportò i primi studi sull'isolamento dell'humus dai suoli; da quel momento si susseguirono diversi studi sull'humus ed al suo aspetto nutrizionale, pur avendo una battuta d'arresto nella prima metà del diciannovesimo secolo con lo sviluppo della teoria nutrizionale del Liebig che finì per reprimere teorie concorrenti a quelle legate alla nascente industria dei fertilizzanti, come quella della nutrizione organica da parte dell'humus. In ogni caso dalla seconda metà del novecento fino ai giorni nostri gli studi sull'humus hanno ripreso slancio ed oggi le conoscenze sull'argomento sono giunte ad un livello sicuramente soddisfacente. E' difficile dare una definizione univoca di sostanza umica vista la straordinaria eterogeneità di una matrice come l'humus, tuttavia gli studiosi sono sostanzialmente d'accordo nel suddividere questo materiale organico in due gruppi: 1) macromolecole di origine biochimica come i polisaccaridi, le proteine e le componenti alchiliche a catena lunga delle membrane cellulari; 2) le sostanze umiche propriamente dette che si ritiene derivino da vari processi di degradazione del materiale vegetale e di sintesi microbica. L'analisi e l'identificazione delle macromolecole biochimiche, una volta separate, non risultano particolarmente difficili, mentre ancora molto dibattuto esiste nella comunità scientifica riguardo alla natura chimica ed alla reattività delle

sostanze umiche. In linea generale possiamo definire le sostanze umiche come una serie di sostanze ad alto peso molecolare, di colore da giallo a nero, parzialmente aromatiche, formate da reazione secondarie di sintesi e ricche di gruppi funzionali contenenti ossigeno, principalmente gruppi COOH ma anche funzioni fenoliche, enoliche, alcoliche e chinoniche (Piccolo, Chimica dell'Ambiente). Riguardo alla formazione delle sostanze umiche sono state formulate diverse teorie. Fin dagli anni 60 del XX secolo, un consenso generale si era consolidato nella comunità scientifica nell'assumere che le sostanze umiche fossero formate da un'unica tipologia di molecole che sarebbero polimerizzate in modo lineare, nelle condizioni ambientali, fino a raggiungere pesi molecolari di 50.000 Dalton, per gli acidi fulvici, e 300.000 Dalton per quelli umici. L'assunto non è stato mai accertato, in un contesto ambientale, in modo univoco, ma ha ugualmente raccolto i consensi della comunità scientifica fino alla metà degli anni novanta. Sulla scia di evidenze sperimentali osservate per primi da alcuni Agro-chimici dell'Università di Padova, Piccolo, Nardi e Congheri (European Journal of Soil Science, 47, 319-328, 1996), basandosi su esperimenti di gel-permeazione, hanno dubitato della natura polimerica delle sostanze umiche, definendole, piuttosto, come associazioni di molecole a peso molecolare relativamente basso, disposte come delle micelle irregolari, peraltro, in accordo con quanto già postulato anni prima da Wershaw (Journal of Contaminants Hydrology, 1, 29-45, 1986). Pur non mettendo in dubbio tuttavia la macromolecolarità delle sostanze umiche nel suo modello, Piccolo pose le basi per un'ipotesi supramolecolare delle stesse. Secondo la teoria in questione, le piccole molecole in un contesto così eterogeneo si autoassocerebbero grazie ad interazioni relativamente deboli quali forze di van der Waals, interazioni p-p o CH-p, interazioni idrofobiche e legami ad idrogeno. Questo modello innovativo, malgrado sia in una certa misura opposto al precedente, ha guadagnato progressivamente ampio consenso con le conferme suggerite dalle moderne evidenze sperimentali provenienti dal nostro gruppo e di altri scienziati. Concomitantemente, la carenza di prove sperimentali moderne a supporto del modello macropolimerico ha contribuito alla sua accettazione. Molte sono le pubblicazioni reperibili in letteratura che spiegano i risultati in funzione della teoria supramolecolare. Inoltre, metodi chimico-fisici avanzati, come la risonanza magnetica nucleare (NMR) e la spettrometria di massa (MS), hanno evidenziato che la massa molecolare media di una singola molecola di sostanza umica è difficilmente maggiore di 1000 Da.

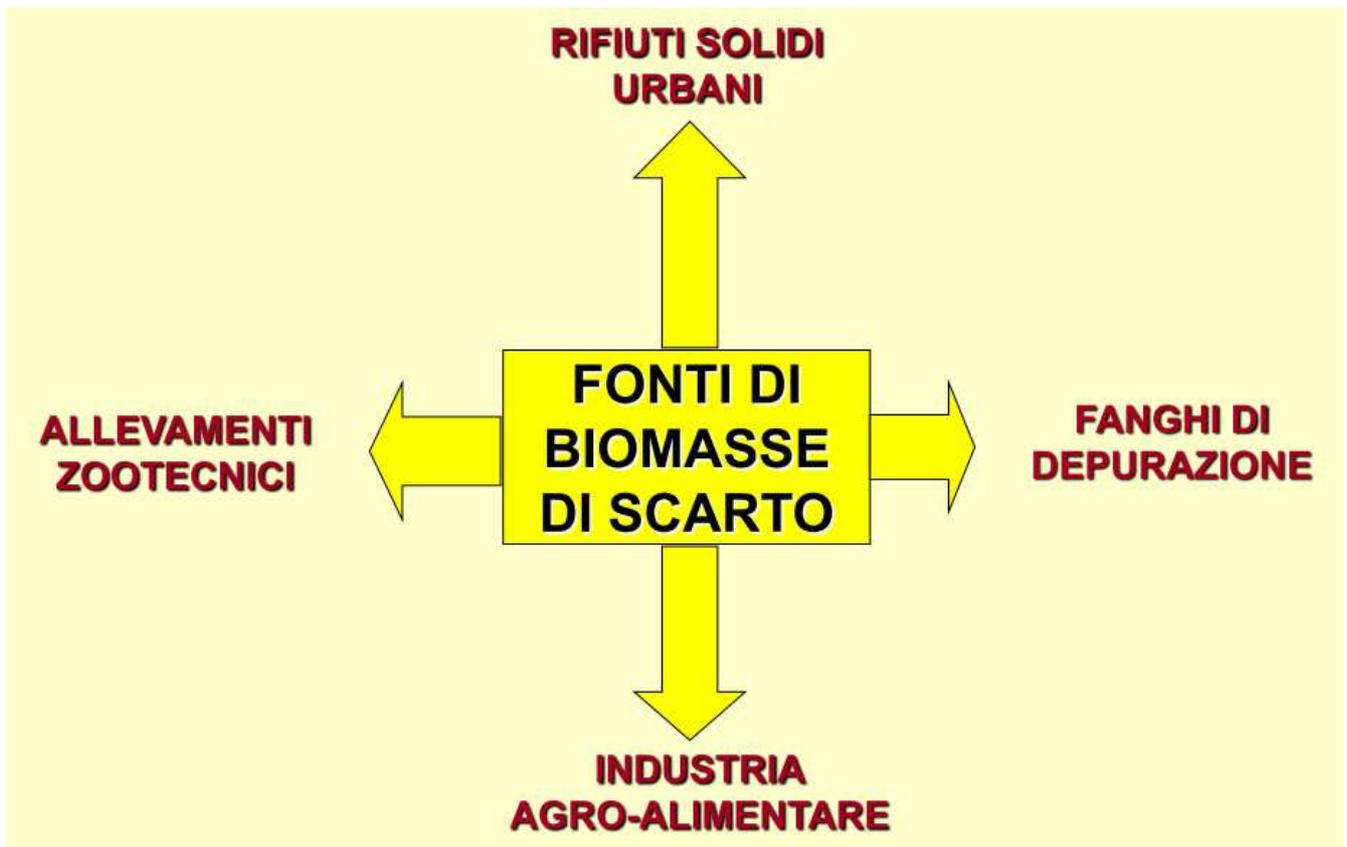
Va evidenziato che le aree in cui la ricerca basata sull'ipotesi supramolecolare ha maggiore prospettive, sono molteplici.

In ogni caso la sostanza organica può essere vista come il risultato del continuo braccio di ferro tra i processi di mineralizzazione e immobilizzazione dove per mineralizzazione intendiamo la

conversione di C, N, P e S in forme minerali e per immobilizzazione il processo inverso (vedi figura x)



Per gli apporti di sostanza organica nel suolo una fonte importante è rappresentata dalle biomasse in particolare dalle biomasse di scarto. Le biomasse di scarto sono “materiali organici di origine naturale, residui, reflui, effluenti e/o sottoprodotti della trasformazione e/o utilizzazione di biomasse vegetali e/o animali”.



Residui e reflui dell'industria agro-alimentare possono essere addizionati al suolo come

- Materiale fresco, non decomposto
- Materiale parzialmente decomposto e trasformato
- Materiale stabile e maturo

Le potenziali capacità fertilizzanti della componente organica dei primi tipi di materiali non sono completamente sfruttate nel suolo inoltre, questi materiali potrebbero produrre effetti indesiderati sulle proprietà fisiche e chimiche del suolo e sulla sua biomassa, nonché per sulle colture. Per migliorare la fertilità organica del suolo l'ammendante organico deve essere il più possibile simile alla sostanza organica naturale del suolo L'applicazione al suolo di sostanza organica fresca, non stabile, può produrre effetti negativi:

- Incremento della velocità di mineralizzazione del C organico nativo del suolo a causa di un aumento dell'attività microbica
- Instaurazione nel suolo di condizioni anaerobiche causate dalla mineralizzazione di grandi quantità di carbonio ed alto consumo di ossigeno (con conseguenti problemi di anossia radicale, incremento della denitrificazione, mobilitazione di forme ridotte di metalli traccia e/o pesanti, ecc.)
- Alterazioni negative del pH del suolo
- Addizione o formazione nel suolo di sostanze tossiche per piante

e microrganismi (acidi organici a basso peso molecolare, fitotossine, ecc.)

□ Inibizione della germinazione e dell'elongazione radicale

PER NON TURBARE NEGATIVAMENTE GLI EQUILIBRI CHIMICI, BIOLOGICI E BIOCHIMICI DEL TERRENO E' NECESSARIO CHE LA BIOMASSA SUBISCA, PRIMA DELL'APPLICAZIONE AL SUOLO, UN PROCESSO PREVENTIVO DI DETOSSIFICAZIONE E STABILIZZAZIONE, CIOE' DI TRASFORMAZIONE DELLA SOSTANZA ORGANICA IN FORME PIU' STABILI CHE SOLO IN PARTE E MOLTO LENTAMENTE POSSANO SERVIRE DA SUBSTRATI PER MICROORGANISMI, avviando quindi un PROCESSO DI UMIFICAZIONE che porti alla formazione di sostanze umiche. La trasformazione delle biomasse tende a riprodurre (simulare) i processi di umificazione che avvengono in natura allo scopo di ottenere molecole più stabili e non tossiche per gli animali e le piante. Gli organismi coinvolti nel processo di umificazione sono diversi. Inizialmente un ruolo fondamentale è svolto dai lombrichi che assicurano il mescolamento nel suolo dei residui organici e portano la sostanza organica a contatto con i microrganismi; successivamente entrano in gioco gli insetti del suolo ed altri artropodi che svolgono un lavoro di amminutamento dei residui organici e consentono ai microrganismi del suolo di accedere a tutte le parti dei residui organici. A questo punto comincia ad agire la popolazione di batteri che cresce rapidamente quando della sostanza organica è aggiunta al suolo; i batteri cominciano a degradare rapidamente i componenti semplici della sostanza organica giunti nel suolo (zuccheri, aminoacidi, proteine) e lentamente i componenti complessi (cellulosa, emicellulosa, lignina, chitina). Successivamente intervengono i funghi la cui crescita in conseguenza di aggiunta al suolo di sostanza organica risulta piuttosto lenta; essi sono capaci di degradare molecole complesse come emicellulose, cellulosa, chitina; essi rendono accessibili agli altri microrganismi molecole facilmente degradabili protette da quelle complesse (es. parete cellulare). Nella fase successiva compaiono gli Attinomiceti, organismi dominanti nella fase terminale della decomposizione, capaci di decomporre composti molto complessi e resistenti quali cellulosa, chitina, lignina e cere. Infine, gli ultimi attori del processo di umificazione sono rappresentati da protisti e nematodi che si nutrono dei decompositori primari (batteri, funghi, attinomiceti), permettendo così il rilascio dei nutrienti in essi contenuti.

Ammendanti: diverse tipologie

Tipi di compost - aspetti legislativi

*Fonti: presentazione rustichelli-de santis*

*Fonti: all. 2 D.Lgs 29 aprile 2010 n. 75 (presentaz Rustichelli e de santis)*

Uno dei mezzi più utilizzati ed efficaci per apportare sostanza organica “stabilizzata” al terreno è l’utilizzo di ammendanti organici. La norma di riferimento per gli ammendanti organici è il **D.Lgs. 29 aprile 2010 n. 75** recante **NORME PER LA DISCIPLINA DEI FERTILIZZANTI** e sue modifiche del 17 settembre 2013, che disciplina gli aspetti della produzione e della commercializzazione dei fertilizzanti, ivi inclusi gli **ammendanti compostati**; in particolare nell’allegato 2, esistono diversi tipi di ammendanti come indicato di seguito:

Allegato 2 – Ammendanti:

- Letame
- Letame artificiale
- Ammendante vegetale semplice non compostato
- Ammendante compostato verde
- Ammendante compostato misto
- Ammendante torboso composto
- Torba acida
- Torba neutra
- Torba umificata
- Leonardite
- Vermicompost da letame
- Lignite
- Ammendante compostato con fanghi

Nell’allegato, per ogni tipologia di ammendante sono indicati la denominazione, il modo di preparazione, i componenti essenziali, il titolo minimo in elementi e/o sostanze utili, i criteri di concernenti la valutazione insieme ad altri eventuali requisiti richiesti, altre indicazioni concernenti la denominazione del tipo, gli elementi o sostanze utili il cui titolo deve essere dichiarato, eventuali caratteristiche diverse da dichiarare insieme ad altri eventuali requisiti richiesti ed infine delle note. Tra gli ammendanti soffermeremo la nostra attenzione in particolare sugli ammendanti compostati, i cosiddetti compost, utilizzati nella presente sperimentazione. Nelle figure sottostanti sono riportate

le caratteristiche dell'ammendante compostato verde (fig. x), di quello misto (fig. x) e di quello con fanghi (fig.x)

4.	Ammendante compostato verde	Prodotto ottenuto attraverso un processo controllato di trasformazione e stabilizzazione di rifiuti organici che possono essere costituiti da scarti di manutenzione del verde ornamentale, altri materiali vegetali come sanses vergini (disoleate o meno) od esauste, residui delle colture, altri rifiuti di origine vegetale.	Umidità: massimo 50% pH compreso tra 6 e 8,5 C organico sul secco: minimo 20% C umico e fulvico sul secco: minimo 2,5% Azoto organico sul secco: almeno 80% dell'azoto totale C/N massimo 50.	---	Umidità pH C organico sul secco C umico e fulvico sul secco Azoto organico sul secco C/N Salinità Na totale sul secco	È consentito dichiarare i titoli in altre forme di azoto, fosforo totale e potassio totale. Il tenore dei materiali plastici vetro e metalli (frazione di diametro $\geq 2$ mm) non può superare lo 0,5% s.s. Inerti litoidi (frazione di diametro $\geq 5$ mm) non può superare il 5% s.s. Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica: - Salmonella: assenza in 25 g di campione t.q.; $n^{(1)}=5$ ; $c^{(2)}=0$ ; $m^{(3)}=0$ ; $M^{(4)}=0$ ; - Escherichia coli in 1 g di campione t.q.; $n^{(1)}=5$ ; $c^{(2)}=1$ ; $m^{(3)}=1000$ CFU/g; $M^{(4)}=5000$ CFU/g; Indice di germinazione (diluizione al 30%) deve essere $\geq 60\%$ Sono ammesse alghe e piante marine, come la Posidonia spiaggiata, previa separazione della frazione organica dalla eventuale presenza di sabbia, tra le matrici che compongono gli scarti compostabili, in proporzioni non superiori al 20% (P:P) della miscela iniziale. -Tallio: meno di 2 mg kg <sup>-1</sup> sul secco (solo per Ammendanti con alghe).
----	-----------------------------	---	--	-----	--	---

5.	Ammendante compostato misto	Prodotto ottenuto attraverso un processo controllato di trasformazione e stabilizzazione di rifiuti organici che possono essere costituiti dalla frazione organica dei Rifiuti Urbani proveniente da raccolta differenziata, dal digestato da trattamento anaerobico (con esclusione di quello proveniente dal trattamento di rifiuto indifferenziato), da rifiuti di origine animale compresi liquami zootecnici, da rifiuti di attività agroindustriali e da lavorazione del legno e del tessile naturale non trattati, nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato verde.	Umidità: massimo 50% pH compreso tra 6 e 8,8 C organico sul secco: minimo 20% C umico e fulvico sul secco: minimo 7% Azoto organico sul secco: almeno 80% dell'azoto totale C/N massimo 25.		Umidità pH C organico sul secco C umico e fulvico sul secco Azoto organico sul secco C/N Salinità	È consentito dichiarare i titoli in altre forme di azoto, fosforo totale e potassio totale. Il tenore dei materiali plastici vetro e metalli (frazione di diametro $\geq 2$ mm) non può superare lo 0,5% s.s. Inerti litoidi (frazione di diametro $\geq 5$ mm) non può superare il 5% s.s. Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica: - Salmonella: assenza in 25 g di campione t.q.; $n^{(1)}=5$ ; $c^{(2)}=0$ ; $m^{(3)}=0$ ; $M^{(4)}=0$ ; - Escherichia coli in 1 g di campione t.q.; $n^{(1)}=5$ ; $c^{(2)}=1$ ; $m^{(3)}=1000$ CFU/g; $M^{(4)}=5000$ CFU/g; Indice di germinazione (diluizione al 30%) deve essere $\geq 60\%$ -Tallio: meno di 2 mg kg <sup>-1</sup> sul secco (solo per Ammendanti con alghe).
----	-----------------------------	--	--	--	---	--

13.	Ammendante compostato con fanghi	Prodotto ottenuto attraverso un processo controllato di trasformazione e stabilizzazione di reflui e fanghi nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato misto	Umidità: massimo 50% pH compreso tra 6 e 8,8 C organico sul secco: minimo 20% C umico e fulvico sul secco: minimo 7% Azoto organico sul secco: almeno 80% dell'azoto totale C/N massimo 25.	---	Umidità pH C organico sul secco C umico e fulvico sul secco Azoto organico sul secco C/N Salinità	Per "fanghi" di cui alla presente colonna e alla colonna n. 3 si intendono quelli di cui al Decreto legislativo 27 gennaio 1992, n. 99 e successive modifiche e integrazioni. I fanghi, tranne quelli agroindustriali, non possono superare il 35% (p/p sostanza secca) della miscela iniziale. I fanghi utilizzati per la produzione di dell'Ammendante compostato con fanghi, nelle more della revisione del D.Lgs. 99/92, devono rispettare i seguenti limiti: PCB < 0,8 mg/kg s.s. È consentito dichiarare i titoli in altre forme di azoto, fosforo totale e potassio totale. Il tenore dei materiali plastici vetro e metalli (frazione di diametro $\geq 2$ mm) non può superare lo 0,5% s.s. Inerti litoidi (frazione di diametro $\geq 5$ mm) non può superare il 5% s.s. Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica: - Salmonella: assenza in 25 g di campione t.q.; n(1)=5; c(2)=0; m(3)=0; M(4)=0; - Escherichia coli: in 1 g di campione t.q.; n(1)=5; c(2)=1; m(3)=1000 CFU/g; M(4)=5000 CFU/g; Indice di germinazione (diluizione al 30%) deve essere $\geq 60\%$ - Tallio: meno di 2 mg kg <sup>-1</sup> sul secco (solo per Ammendanti con alghe).
-----	----------------------------------	---	--	-----	---	--

L'ammendante compostato verde è un prodotto ottenuto attraverso un processo controllato di trasformazione e stabilizzazione di rifiuti organici che possono essere costituiti da scarti di manutenzione del verde ornamentale, altri materiali vegetali come sanse vergini (disoleate o meno) od esauste, residui delle colture, altri rifiuti di origine vegetale. Deve avere un'umidità del 50% massimo, un pH compreso tra 6 e 8,5, un contenuto di C organico sul secco del 25% minimo, un contenuto di C umico e fulvico sul secco minimo del 2,5%, un contenuto di N organico sul secco almeno dell'80% dell'N totale ed un rapporto C/N massimo di 50; inoltre è obbligatorio dichiarare la salinità.

L'ammendante compostato misto invece è un prodotto ottenuto attraverso un processo controllato di trasformazione e stabilizzazione di rifiuti organici che possono essere costituiti dalla frazione organica degli RSU proveniente da raccolta differenziata, da rifiuti di origine animale compresi liquami zootecnici, da rifiuti di attività agroindustriali e da lavorazione del legno e del tessile naturale non trattati, da reflui e fanghi (non superiori al 35% (p/p) della miscela iniziale, tranne per i fanghi agroindustriali), nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato verde. Rispetto all'ammendante compostato verde deve avere le stesse caratteristiche riguardo l'umidità, il pH,

l'obbligo di dichiarare la salinità e la percentuale di N organico rispetto all'N totale, ma un contenuto minimo di C organico sul secco del 20%, un contenuto di C umico e fulvico del 7% in s.s., ed un rapporto massimo C/N di 25.

Altri parametri fissati per legge sono comuni a tutte le tipologie di ammendanti compostati e sono un tenore dei materiali plastici, vetro e metalli (frazione di diametro  $\geq 2$  mm) non superiore allo 0,5% s.s. ed un quantitativo di Inerti litoidi (frazione di diametro  $\geq 5$  mm) non superiori al 5% della s.s.

Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica:

- Salmonella: assenza in 25 g di campione t.q. (n=5; c=0; m=0; M=0);
- Escherichia coli: in 1 g di campione t.q. (n=5; c=1; m=1000 CFU/g; M=5000 CFU/g);
- Indice di germinazione (diluizione al 30%) deve essere  $\geq 60\%$

Infine il D. Lgs. 75/2010 stabilisce anche i valori massimi di metalli pesanti presenti negli ammendanti espressi in mg kg s.s.  $^{-1}$  che sono i seguenti: cadmio 1,5, piombo 140, nichel 100, mercurio 1,5, cromo esavalente <0,5, rame 230, zinco 500.

Compost:

*Fonti: presentazioni brunetti e ferri, Rapporto C/N (Praveen-Kumar et al., 2003 su presentazioni xyloyannis)*

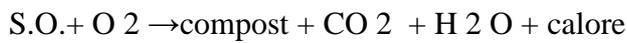
### **Definizioni di compost e compostaggio**

In natura, come detto in precedenza, la sostanza organica viene: in parte decomposta dai microrganismi presenti nel terreno (80% circa) (mineralizzata) In parte viene rielaborata e trasformata dopo lunghi e complessi processi in sostanze umiche. Con il compostaggio si vogliono imitare, riproducendoli in forma controllata ed accelerata, i processi naturali mescolando i residui organici con altri ingredienti per ottimizzare la crescita microbica.

bioconversione di tipo ossidativo, termofilo ed esotermico, che avviene in condizioni controllate a carico di matrici organiche.

Il compostaggio può essere definito come un processo aerobico, ossidativo, termofilo ed esotermico di decomposizione biologica della sostanza organica che avviene in condizioni controllate e che

permette di ottenere un prodotto biologicamente stabile in cui, la componente organica presenta un elevato grado di evoluzione (Confalonieri). L'intero processo può essere riassunto dalla seguente reazione:



Il compost rappresenta pertanto della sostanza organica stabilizzata ricca di humus.

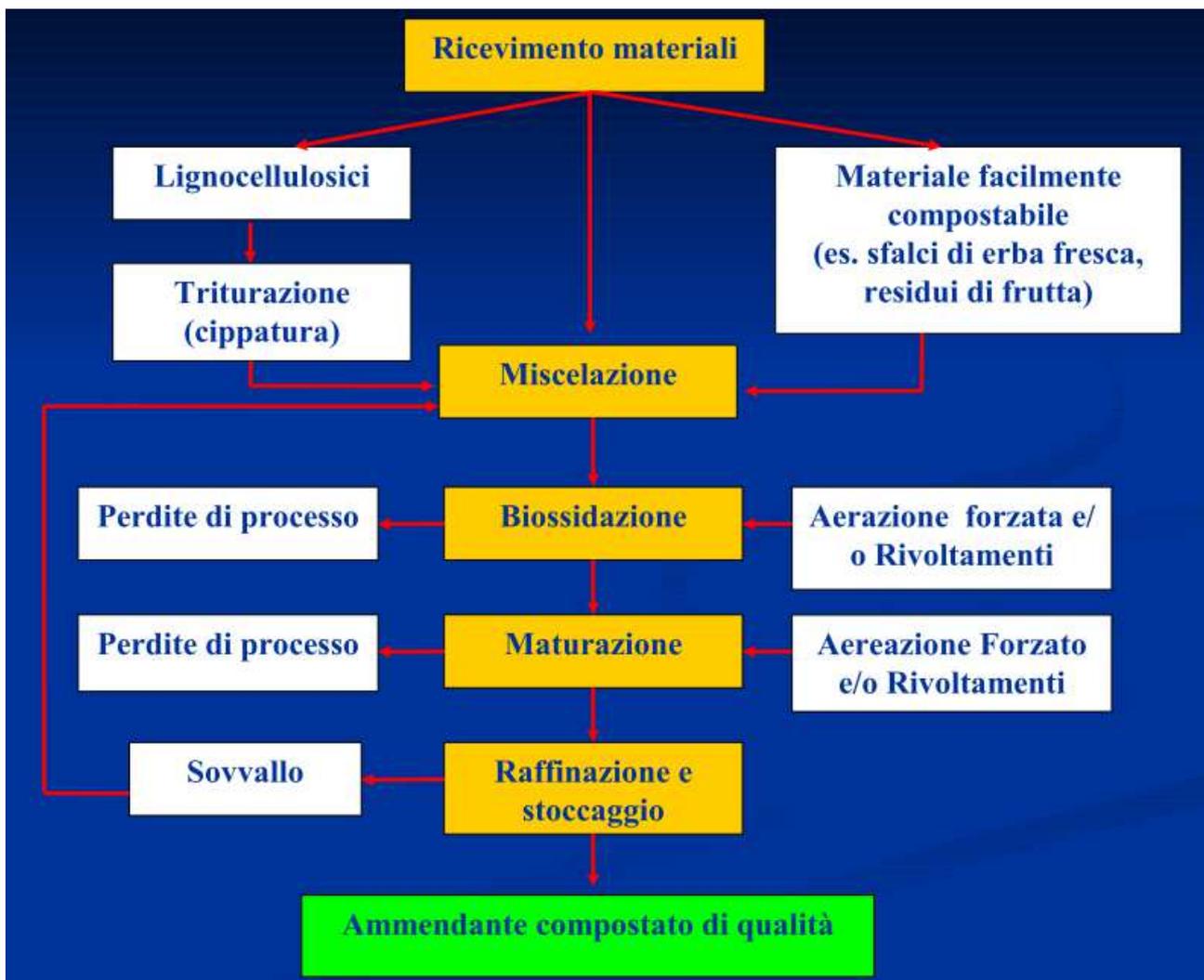
### Processo di compostaggio

come si fa

*Fonti: Elementi di conoscenza del compostaggio e dei compost e loro*

*impiego in orticoltura: on farm (celano), e impianti (confalonieri, valentini)*

Il diagramma di flusso della produzione di compost è indicato nella figura x



Per arrivare alla formazione di un buon compost è importante la scelta dei materiali di partenza che andranno poi, in seguito ad una serie di processi, a formare il compost da utilizzare in campo. I materiali da cui si deve partire sono fondamentalmente ascrivibili a due tipologie di sostanza organica: la componente strutturante, costituita da materiali lignocellulosici che servono per dare al compost la struttura e la porosità per assicurare ai microrganismi condizioni di aerobiosi, e la componente nutrizionale costituita da materiale facilmente compostabile, che costituisce il substrato facilmente attaccabile da parte dei microrganismi e che serve per avviare il processo di compostaggio. Per garantire una buona porosità al compost è importante che prima della miscelazione della componente nutrizionale con quella ligno-cellulosica, quest'ultima sia stata tritata in maniera tale da avere delle particelle di diametro di circa 5-6 cm. Esempi di materiali utili alla produzione di un buon compost ed esempi di materiali di partenza non adatti sono indicati nella figura x

<b>COSA UTILIZZARE</b>	<b>COME</b>	<b>COSA NON UTILIZZARE</b>	<b>PERCHÉ</b>
<b>Resti di frutta ed ortaggi</b>	<b>ridotte a pezzi</b>	<b>Plastica e gomma</b>	<b>non degradabile</b>
<b>Fiori e foglie secche (non malate)</b>	<b>triturati</b>	<b>Olio esausto</b>	<b>inquinante</b>
<b>Fondi di caffè o tè</b>	<b>scolati da eventuali liquidi</b>	<b>Vernici ed inchiostri</b>	<b>altamente inquinanti</b>
<b>Gusci di uova</b>	<b>schacciati</b>	<b>Pile e medicinali scaduti</b>	<b>altamente inquinanti</b>
<b>Piume, capelli</b>	<b>distribuiti bene</b>	<b>Tessuti sintetici, vetro</b>	<b>non degradabile</b>
<b>Potature e sfalci d'erba</b>	<b>triturati</b>	<b>Ceramica e metalli</b>	<b>inquinanti</b>

In linea generale si può affermare che se il materiale ha un rapporto C/N > 20 si tratterà di materiale strutturante, mentre se ha un rapporto < 20 sarà materiale nutrizionale. Le percentuali delle due tipologie di materiali di partenza sono variabili a seconda del tipo di compost che vogliamo ottenere: in generale possiamo affermare che più materiale lignocellulosico ci sarà più il compost sarà stabile, più contribuirà all'aumento della sostanza organica del suolo e sarà più difficilmente

attaccabile da parte dei microrganismi e pertanto gli elementi nutritivi in esso contenuto saranno meno rapidamente disponibili per la nutrizione delle piante. Viceversa un compost con un'elevata percentuale di materiale facilmente degradabile porterà alla formazione di un compost che apporterà al suolo meno sostanza organica stabilizzata ma che sarà più rapidamente degradato dai microrganismi e pertanto rilascerà prontamente degli elementi nutritivi di cui le piante potranno disporre. In ogni caso la componente strutturante dovrà essere in una percentuale compresa tra il 30 ed il 40% e la componente nutrizionale in una percentuale tra il 60 ed il 70%.

Oltre a queste due tipologie di materiali, per avviare più rapidamente il processo di compostaggio, senza dover attendere che si comincino a manifestare i primi microrganismi attori del processo di compostaggio, si mischia ai materiali di partenza anche uno starter, ovvero del materiale già contenente microrganismi come ad esempio del compost già stabilizzato o del letame maturo (1 – 2 % del volume totale). Infine possono essere aggiunti alla miscela dei correttivi o additivi con la funzione di correggere il pH, bilanciare eventuali carenze nutrizionali, biostimolare l'attività microbica o attirare lombrichi. La miscela così formata va a costituire il cosiddetto cumulo ed è da questo momento in poi che comincia il vero e proprio processo di compostaggio che può essere suddiviso sostanzialmente in tre fasi:

- Fase attiva (fase ACT) o bioossidazione
- Fase di cura/maturazione (curing phase)
- Fase di raffinazione e stoccaggio

Durante la fase attiva detta anche di bioossidazione nel cumulo avvengono intensi processi di degradazione delle componenti organiche più facilmente degradabili fino al raggiungimento di una certa stabilità biologica; in questa fase sono i batteri aerobi a degradare la frazione organica, più facilmente fermentescibile, contenuta principalmente nei materiali più umidi, in composti organici a basso peso molecolare, anidride carbonica, ammoniaca, acqua e sali minerali. In questa fase la temperatura aumenta fino a 60 - 70°C e dovrebbe restare su tali valori per almeno 5 giorni; in tal modo si ottiene la cosiddetta igienizzazione del compost, vale a dire la devitalizzazione dei microrganismi patogeni e dei semi delle piante infestanti

Nella successiva fase di cura/manutenzione avvengono dei processi di trasformazione della SO in sostanze umiche (umificazione); in questa fase si registra una temperatura di 40-45°C, i processi metabolici diminuiscono di intensità ed accanto all'attività batterica se ne evidenziano altre dovute a varie specie di funghi e di attinomiceti che degradano amido, cellulosa e lignina.

La richiesta di ossigeno diminuisce sensibilmente e la sostanza organica diviene sufficientemente stabile e così non esplica più un'azione tossica sui vegetali.

Infine la fase di raffinazione e stoccaggio è caratterizzata da un'intensa colonizzazione da parte di animali di piccole dimensioni (per esempio i lombrichi) che contribuiscono allo sminuzzamento dei composti organici e minerali formati. Una parte del materiale strutturante, caratterizzato come detto da scarsa degradabilità dovuta sia alla sua composizione biochimica sia alla ridotta superficie di esposizione all'attività microbica, può attraversare quasi indenne il ciclo di compostaggio e, pertanto, può essere recuperata tramite vagliatura del compost finito ed essere riutilizzata in un ciclo successivo (il cosiddetto sovrillo).

In qualunque tipo di processo di compostaggio, avviene una fermentazione in presenza di una umidità che varia tra il 55% (per i sistemi a basso tasso di rivoltamento) fino al 70% (sistemi ad alta frequenza di rivoltamento), di conseguenza si ha la produzione di percolati acquosi che, essendo potenzialmente inquinanti, vanno gestiti con le dovute cautele. Ogni tonnellata di frazione organica di rifiuti solidi urbani (FORSU) trattata produce tra 14 e 24 litri di acque reflue (Zicari 2009). Il percolato può essere ricco di nutrienti e quindi causare il pericoloso aumento di sostanze se contamina le acque (aumenta il BOD: domanda biologica di ossigeno). Vanno dunque attuate le misure di prevenzione dei rischi che possano causare il dilavamento del percolato (ad es. rischio di piogge in sistemi di compostaggio all'aperto) con conseguente sversamento nelle acque potabili di sostanze pericolose e sedimenti. Il percolato viene generalmente riutilizzato durante il compostaggio, ovvero raccolto e versato sul cumulo sottoposto a compostaggio per inumidirlo, oppure in alternativa viene depurato e smaltito.

Ai fini del recupero del percolato, quindi, i cumuli sottoposti a compostaggio vanno messi su superfici impermeabilizzate, dotate di sistemi di drenaggio e di raccolta delle acque reflue di processo.

I sistemi di compostaggio possono essere suddivisi in diverse tipologie

- sistemi statici e dinamici a seconda della presenza e frequenza degli interventi di movimentazione per la ricostituzione periodica dello stato strutturale; nel cumulo statico la biomassa non viene rivoltata e dunque non avviene alcun rimescolamento né ristrutturazione del cumulo, nel cumulo dinamico viceversa la biomassa viene spesso rivoltata con conseguente rimescolamento e ricreazione di porosità e strutturazione.
- sistemi intensivi ed estensivi, a seconda della tecnologia adottata, dell'importanza data ai processi naturali ed a quelli indotti e degli input energetici unitari; in linea di massima possiamo dire che il compostaggio fatto su piccola scala nelle stesse aziende agricole

(compost on farm) è un sistema estensivo, quello fatto negli impianti industriali con produzione di grandi quantitativi di compost è un sistema intensivo.

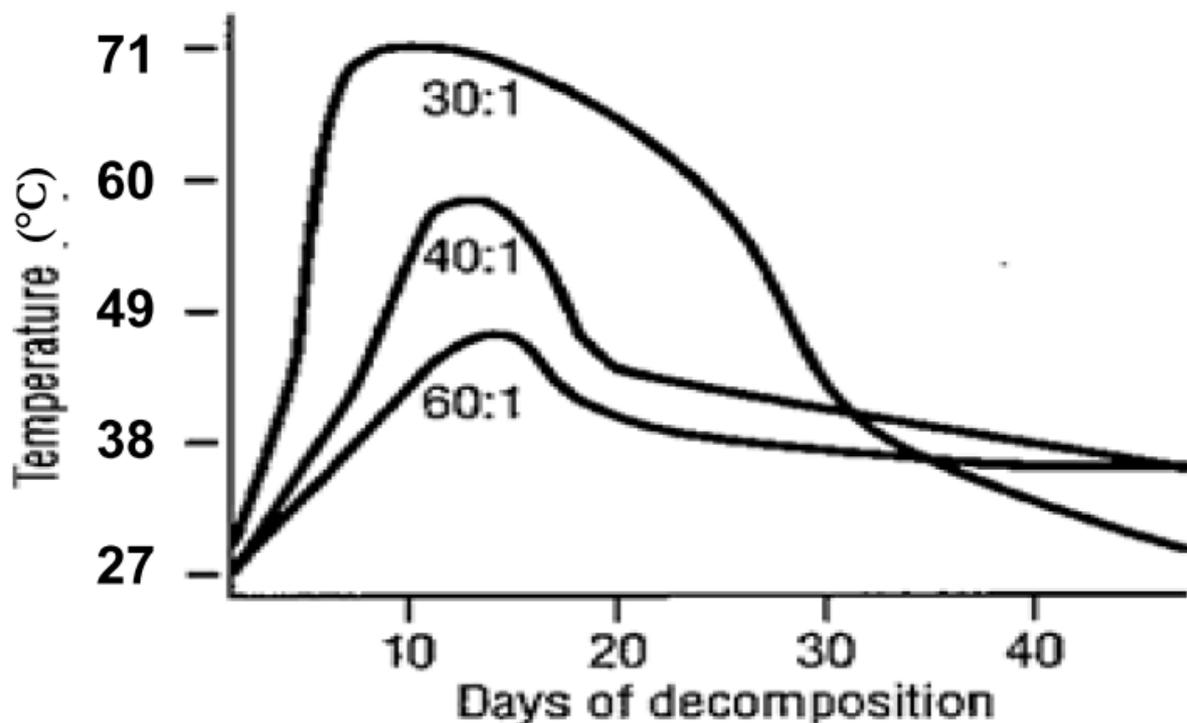
- sistemi chiusi ed aperti a seconda del confinamento o meno degli stessi
- sistemi areati e non aerati se c'è l'aerazione forzata o, di converso, se ci si affida esclusivamente ai processi spontanei di diffusione e convezione: spesso nei sistemi statici si ricorre all'aerazione forzata per assicurare il livello di ossigeno necessario ai microrganismi per operare al meglio.

La durata del processo è di 2-4 mesi per la produzione di compost fresco (2-4 mesi) vale a dire un prodotto igienizzato, ma ancora in corso di trasformazione biologica ed utilizzabile in pieno campo ad una certa distanza dalla semina o dalle radici. Il compost diviene pronto dopo 4-8 mesi e cioè quando il prodotto risulta igienizzato e stabilizzato ed in cui l'attività biologica non produce più calore e che può essere utilizzato subito prima della semina o del trapianto. Infine il compost maturo è un compost di 8-12 mesi in cui la fase di umificazione si è conclusa ed il terriccio si può utilizzare contatto diretto con le radici anche in periodi delicati.

Gli aspetti che maggiormente influenzano il processo di compostaggio sono

- Porosità del substrato
- Presenza di ossigeno
- Umidità
- Temperatura
- pH

Per uno sviluppo ottimale della flora microbica, la miscela avviata al compostaggio deve avere un rapporto C/N compreso tra 25 e 35. È necessaria quindi una miscelazione in giuste proporzioni delle varie matrici. Alla fine del processo il rapporto C/N diminuisce fino a valori compresi tra 15 e 20, per la perdita di CO<sub>2</sub> (N rimane abbastanza costante). L'azoto risulta importante per la riproduzione e lo sviluppo dei microrganismi (non in eccedenza per evitare problemi di emissioni di NH<sub>3</sub> in atmosfera e perdita di valore del fertilizzante). Il carbonio risulta fondamentale per la struttura del cumulo (materiale ligno-cellulosico/strutturante come cortecce, risulti di potatura, etc). Nella figura x sono indicati i tempi di degradazione delle matrici sottoposte a compostaggio in base al rapporto C/N ed alla temperatura; si nota come anche a temperature elevate, la degradazione delle matrici prosegue lentamente se il rapporto C/N risulta elevato (ad es. C/N = 60).



Nella figura x sono invece riportati dei valori indicativi del rapporto C/N di diversi materiali compostabili

## RAPPORTO C/N IN VARIE MATRICI

Fieno di medica	12:1
Stocchi di mais	60:1
Letame fresco	20:1
Scarti di frutta	35:1
Foglie	50:1
Sfalci d'erba	15:1
Paglia	80:1
Scarti di cibo	15:1
Segatura, carta, legno	400:1

La porosità risulta elevata all'inizio del processo (per la presenza di materiale grossolano), mentre poi diminuisce in seguito alla decomposizione del substrato ed

all'assestamento del cumulo. Nella fase bioossidativa la percentuale di ossigeno deve essere compresa tra 16% e 20%, garantendo:

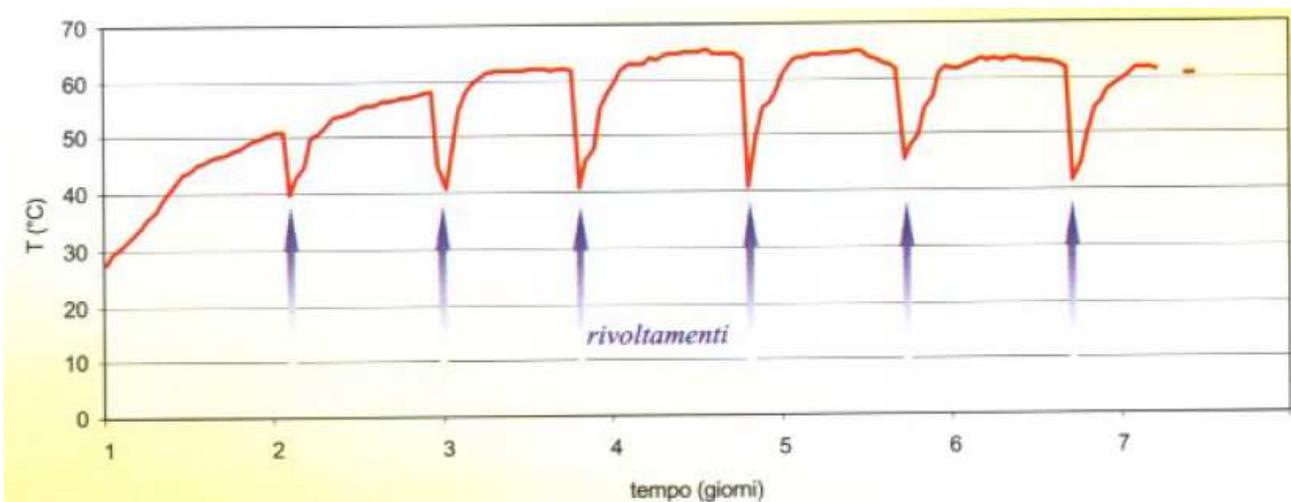
- fabbisogno stechiometrico di  $O_2$
- temperature non eccessive
- riduzione dell'umidità

La carenza di ossigeno provoca l'instaurarsi di condizioni anossiche con produzione di odori acri (accumulo nella biomassa di composti ridotti: acidi grassi volatili,  $H_2$ ,  $2S$ , mercaptani ecc.) pertanto vanno effettuate aereazioni forzate con periodici rivoltamenti dei cumuli.

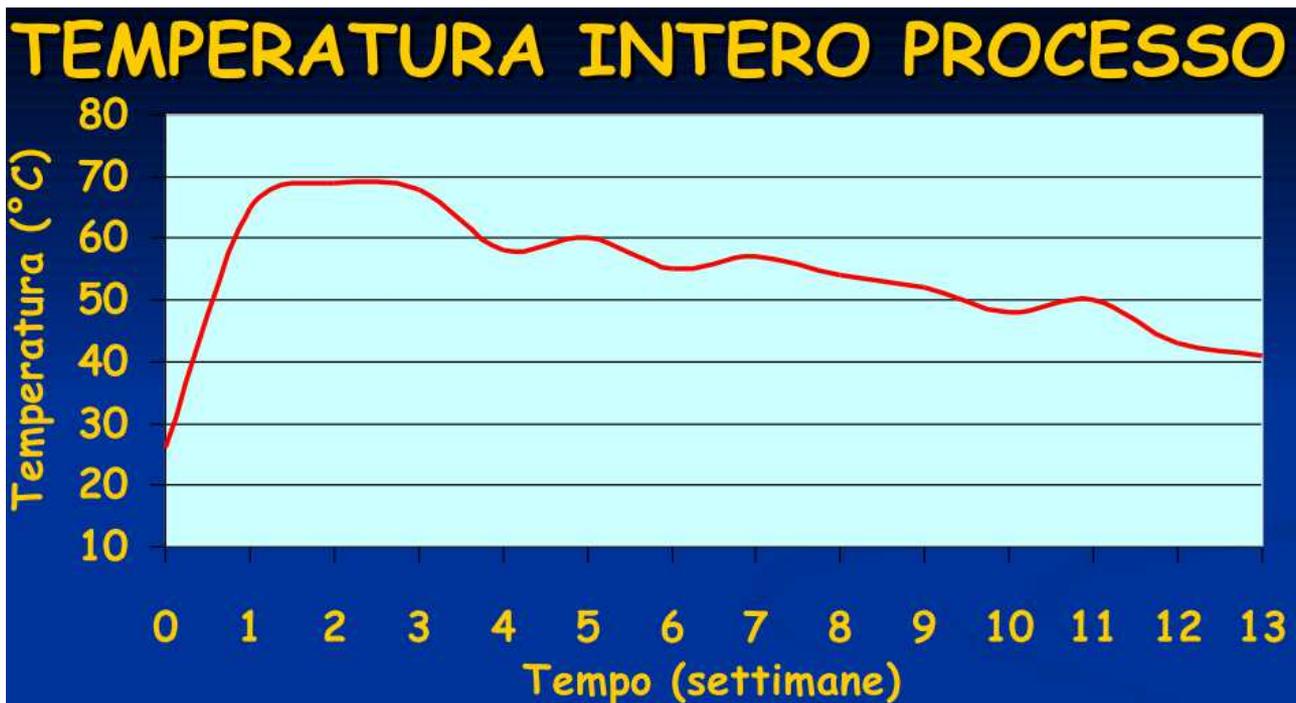
Nella fase di maturazione la richiesta di ossigeno da parte della biomassa è inferiore: la concentrazione di  $O_2$  è compresa tra 1% e 5% e le componenti fungine e gli attinomiceti trovano l'ambiente ideale per degradare la componente lignocellulosica e iniziare il processo di umificazione.

L'umidità deve essere compresa tra il 40% ed il 65% in quanto con percentuali inferiori al 40% si ha un rallentamento dell'attività microbica, che, con percentuali di umidità inferiori al 20% cessa completamente; con un'umidità compresa tra il 50 ed il 55% si ha la massima attività di degradazione.

Durante le prime fasi di processo la temperatura è alquanto elevata, ma in corrispondenza dei rivoltamenti si abbassa in corrispondenza notevolmente (fig. x).



Nelle prime fasi del processo (degradazione di zuccheri, grassi, proteine) si verifica un aumento della temperatura fino a 65-70°C. Per una buona conduzione del processo e per garantire una sufficiente igienizzazione della massa è sufficiente che la temperatura non superi i 60 °C (oltre si ha un calo dell'attività). Nella figura x sono riportati i valori medi della temperatura durante l'intero processo



Il pH durante il processo varia notevolmente (fig. x); inizialmente si ha un abbassamento verso valori acidi (5-6) per la produzione di  $\text{CO}_2$  e acidi grassi volatili; successivamente si ha un innalzamento fino a valori basici (8-9), per la liberazione di  $\text{NH}_3$ ; infine si assiste ad un progressivo allineamento dei valori verso la neutralità (7-8).



L'obiettivo finale del processo di compostaggio è il raggiungimento della maturità e della stabilità biologica del compost. Un compost si dice maturo quando non presenta fenomeni di fitotossicità mentre si definisce biologicamente stabile quando i processi degradativi a carico della sostanza organica contenuta in una biomassa si svolgono a velocità rallentata anche in presenza di condizioni ottimali (di temperatura, umidità, pH) e assenza di fattori inibenti (sostanze tossiche o batteriostatiche); il raggiungimento della maturità è indipendente dalla stabilità biologica (Adani e

Tambone, 1998; Iannotti et al, 1993; Feldman, 1995). Per valutare la maturità di un compost in genere si verifica la sua fitotossicità utilizzando il test di germinazione del crescione (*Lepidium sativum*). Il crescione è una crucifera utilizzabile per l'esecuzione di biosaggi finalizzati a rilevare l'eventuale presenza, in substrati di coltivazione, di sostanze in grado di inibire la germinazione e lo sviluppo delle plantule. In pratica il crescione germina se il substrato non è fitotossico.

Per misurare invece la stabilità biologica di un compost vi sono diversi metodi, raggruppabili in 4 diverse tipologie, qui di seguito elencati:

- a) chimici: variazione di pH, concentrazione delle diverse forme dell'azoto (ammoniacale, nitrico, ecc.), rapporto C/N, solidi volatili, carbonio organico, frazioni umiche, DOC, DON, CSC, ...
- b) fisici: test di autoriscaldamento, spettroscopia IR, spettroscopia NMR in stato solido, densità ottica
- c) biologici: richiesta di O<sub>2</sub>, produzione di CO<sub>2</sub>, attività enzimatiche, contenuto in ATP, biosaggi su piante e semi
- d) organolettici: odori percepiti

## compost di qualità

*Fonti: presentazione Centemero, L'impiego del compost in agricoltura (Centemero)*

Le caratteristiche che deve possedere un buon compost variano in funzione del suo futuro utilizzo.

In linea generale le caratteristiche che deve possedere un buon compost sono le seguenti:

buona porosità

buona capacità di scambio cationico

idrofilia

bassa concentrazione di metalli pesanti

limitata presenza di inerti, in particolare plastica e vetro

elevato o discreto contenuto in sostanza organica

grado di maturazione commisurato agli impieghi agronomici

stabilizzazione della frazione organica e assenza di fattori fitotossici

A garantire la qualità dei compost oggi in commercio sono state sviluppate strategie di valorizzazione del compost nei paesi del Centro Europa prima ed in Italia poi attraverso dei Sistemi di Assicurazione della Qualità (SAQ) basati su criteri di controllo (interno ed esterno all'impianto) in grado di garantire il fornitore di scarti compostabili sull'effettiva trasformazione e

l'utilizzatore finale sul tipo di trattamento effettuato per la produzione del compost. Il ruolo centrale che riveste il sistema di controllo per la garanzia della qualità è evidente in quei paesi dove il compostaggio è molto sviluppato: Austria, Germania, Danimarca, Paesi Bassi e Belgio. Questi paesi hanno istituito una estesa gestione della qualità degli impianti di compostaggio. Molti altri come la Svezia, la Norvegia, la Gran Bretagna e la Francia sono ad uno stato di attivazione di iniziative legate alla gestione della qualità (marchi, leggi, ecc.).

Anche in Italia recentemente il Consorzio Italiano Compostatori (CIC) ha creato un Marchio di Prodotto per arrivare a creare anche in Italia un Sistema di Assicurazione della Qualità (SAQ) per il compost. La creazione di un marchio è senza dubbio un'operazione di fondamentale importanza per la valorizzazione del compost per le ripercussioni positive sull'intero settore in generale e sull'acquirente in particolare.

In Italia il Consorzio Italiano Compostatori (C.I.C.) certifica la qualità del compost attraverso l'apposizione del marchio C.I.C. sul prodotto venduto. La certificazione è un utile strumento per monitorare gli standard qualitativi raggiunti oltre ad essere utile sia per i produttori di compost che per i consumatori che possono verificare la qualità del compost usato.

Lo scopo di questa certificazione è quello di migliorare la sicurezza, la trasparenza e la qualità della produzione di compost, attraverso la definizione di metodiche di campionamento, analisi e controllo standardizzate ; in questo modo coloro che utilizzano il compost sono più facilmente in grado di identificare le tipologie di compost adatte ai loro scopi e si sentono più garantiti di acquistare un prodotto sicuro.

valore agronomico

*(Fonti: presentazioni morra)*

## Effetti del compost sul terreno

*Fonti: vedi presentazioni ferri diacono sambo morra + Elementi di conoscenza del compostaggio e dei compost e loro*

*impiego in orticoltura )*

I motivi per cui è bene utilizzare il compost sono molteplici. Della sua funzione di sink di carbonio si è già discusso. Nell'ottica di un'agricoltura sostenibile il compost ha l'importante funzione di permettere un riutilizzo di scarti quali sono i materiali grezzi da cui si parte per la sua composizione, con evidenti vantaggi ambientali ed economici; tali materiali in alternativa andrebbero gestiti come rifiuti da conferire in discarica con un conseguente forte impatto ambientale ed economico. L'utilizzo del compost, inoltre, rappresenta un'alternativa sostenibile all'utilizzo di risorse non rinnovabili, il cui utilizzo viene di conseguenza ridotto.

Gli effetti prodotti dall'ammendamento organico del terreno con compost possono essere documentati in maniera attendibile attraverso prove di lunga durata che rendono possibile l'osservazione e lo studio di molteplici indicatori dei cambiamenti in atto in un dato agroecosistema (Raupp, 2001). Il compost può essere definito come un ammendante multifunzionale in grado di apportare benefici alla fertilità dei suoli dal punto di vista chimico, fisico e biologico.

La sua funzione principale è senza dubbio quella di apportare sostanza organica (S.O.) in buona parte stabilizzata con conseguente aumento dello stock di carbonio organico nel suolo. Il carbonio apportato al suolo viene in parte decomposto, in parte sequestrato ed è proprio quest'ultima frazione che costituisce un importante contributo alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera e quindi alla mitigazione dei cambiamenti climatici. Nella figura x viene mostrato il contenuto di sostanza organica (SOM) espresso in percentuale di peso del suolo nel corso degli anni in seguito all'applicazione di differenti dosi di compost all'anno; senza apporti di compost il quantitativo di SOM tende progressivamente a diminuire, con 5 t ha<sup>-1</sup> di s.s. il contenuto sostanzialmente rimane invariato, mentre con 10 t ha<sup>-1</sup> di s.s. e 15 t ha<sup>-1</sup> di s.s. la SOM tende rispettivamente quasi a raddoppiare ed a triplicarsi (Favoino and Hogg, 2008). Eghball (Eghball, 2002) riferisce che circa il 36% del carbonio apportato annualmente con compost da letame è stato sequestrato nel suolo dopo 4 anni di applicazioni, mentre l'applicazione per 10 anni di compost da residui colturali (paglia di riso) ha incrementato del 180% la concentrazione di carbonio nei macroaggregati del suolo, rispetto al controllo (Sodhi et al., 2009).

Strettamente collegato all'aumento della SOM è quello della capacità di scambio cationico (CEC) del suolo che in una percentuale variabile dal 20 al 70 % dipende proprio dal quantitativo di sostanza organica. Altrettanto importante è poi la funzione nutritiva del compost in quanto fornisce al terreno su cui è somministrato notevoli quantitativi di calcio, fosforo, potassio e magnesio, che si rendono disponibili alle piante nel breve periodo. Naturalmente, oltre agli elementi sopra citati, il compost fornisce al suolo anche un certo quantitativo di azoto, sebbene va considerato che almeno l'80% di esso (come recita il DL 75/2010) è in forma organica e pertanto disponibile per le piante non immediatamente ma secondo tassi di mineralizzazione che vanno da un 5-10% annuo secondo alcuni (Elementi di conoscenza del compostaggio e dei compost e loro impiego in orticoltura, 2012), ad un 30% entro uno-due anni secondo altri (Eghball, 2002; Blackshaw et al., 2005; Barbarick and Ippolito, 2007; Leroy et al., 2007); naturalmente la mineralizzazione dell'azoto prosegue nel corso degli anni e dopo 4-5 anni in genere si evidenzia l'effetto delle ripetute somministrazioni di compost. L'uso integrato e monitorato di compost di qualità sostiene la fertilità chimica del suolo nel lungo periodo preservando l'ambiente. In Germania, attraverso uno studio condotto per 12 anni (1995-2006) in cinque diversi siti di prova, è stato dimostrato che l'impiego dei compost aveva contribuito in modo sostenibile al miglioramento della fertilità dei suoli grazie ad una maggiore efficienza nel fornire sostanza organica e elementi nutritivi (ECN, 2010).

La somministrazione al terreno di sostanza organica sortisce come effetti principali sulla fertilità fisica del suolo una maggiore porosità che favorisce crescita dell'apparato radicale, una migliore areazione ed una maggiore capacità di assorbimento e rilascio dell'acqua che diviene così disponibile per le piante (Van-Camp et al., 2004; Durán Zuazo and Rodríguez Pleguezuelo, 2008; Abiven et al., 2008). Di conseguenza il terreno diviene più facilmente lavorabile, con conseguente risparmio energetico per le lavorazioni, e meno soggetto a fenomeni di erosione. Dopo ripetute applicazioni di compost da RSU la s.o. comporta una maggiore stabilità strutturale: Albiach et al., 2001 ed Annabi et al., 2006 riferiscono di una maggiore coesione tra particelle negli aggregati dovuta ai polissaccaridi sintetizzati dai microrganismi, una maggiore idrofobicità delle argille ed una maggiore resistenza alla forza disgregante dell'acqua, dovuta ai composti umici colloidali.

Alla luce di quanto esposto, appare evidente come il compost possa costituire una valida alternativa a materiali utilizzati tradizionalmente per concimare il terreno come letami o concimi di sintesi. In un terreno ricco di sostanza organica come quello a cui è stato somministrato un sufficiente quantitativo di compost, molti microrganismi benefici per la struttura del suolo o per la salute delle piante, trovano un ambiente molto adatto alla loro crescita. Sperimentazioni di lungo termine hanno dimostrato che il compost può promuovere l'attività microbica ed enzimatica, grazie alla frazione labile della sostanza organica (Zaman et al., 2004; Ros et al., 2006a, b; Tejada et al., 2006, 2009); in generale un suolo ammendato da più anni presenta una maggiore biodiversità ed una maggiore attività biologica di un suolo non ammendato. Decomponendosi lentamente nel suolo, il compost sostiene la popolazione microbica per un lungo periodo: è stato riscontrato, dopo 4 anni dall'applicazione ripetuta di compost da letame, un aumento del 20% di biomassa microbica rispetto ai fertilizzanti minerali (Ginting et al., 2003)

Applicando regolarmente compost al terreno si ottiene anche l'effetto di innalzare la temperatura del suolo, il che si traduce ad esempio in una migliore crescita primaverile delle piante (Federal Ministry for Agriculture and Forestry of Austria, 2007). In alcuni casi l'utilizzo del compost può essere utile per il loro effetto soppressivo nei confronti di alcuni patogeni del suolo: Bonanomi (Elementi di conoscenza del compostaggio e dei compost e loro impiego in orticoltura, 2012) riferisce di una buona soppressività dei compost nei confronti di molte specie del genere *Fusarium* spp. anche se non sono ancora molto chiari i meccanismi alla base di questa soppressività. Usato come pacciamante il compost migliora l'attecchimento delle piante, costituendo una valida alternativa a film plastici, paglia, cippato.

La composizione dei compost è assai variabile, in funzione di diversi fattori quali la tipologia dell'impianto di produzione, il materiale grezzo trasformato ed il grado di maturazione.

Prima di somministrare gli ammendanti al fine di stabilire una corretta gestione colturale è necessario conoscere la composizione chimica del materiale a disposizione, in particolare il rapporto C/N ed i parametri di umificazione, ed individuare le dosi da somministrare così come le modalità ed i tempi di somministrazione. Il rapporto C/N esprime il rapporto tra le sostanze che forniscono ai microrganismi energia per le loro reazioni metaboliche (composti carboniosi) ed i materiali plastici per la loro moltiplicazione (composti azotati); il C/N ideale è compreso tra 25 e 30. Se questo rapporto è basso (generalmente inferiore a 20) i microrganismi del suolo procederanno ad una spinta mineralizzazione con un cospicuo rilascio di N inorganico, se è alto (>20), si osserverà un rallentamento delle attività microbiche, inizialmente non si avrà mineralizzazione della sostanza organica ed una parte di azoto dal suolo sarà immobilizzata, e quindi resa non disponibile per le piante, per completare il processo di degradazione microbica della sostanza organica (immobilizzazione microbica).

Anche i parametri di umificazione di un compost danno la possibilità di stimare quello che accadrà una volta che sarà interrato: i parametri da considerare sono il contenuto di carbonio umico e fulvico, il grado di umificazione, il tasso di umificazione e l'indice di umificazione. Nel carbonio della sostanza organica vi sono due frazioni, quella umica e quella fulvica: il contenuto di C di queste 2 frazioni della s.o. (C(HA+FA)) nei compost permette di quantificare le percentuali degli acidi umici (più ricchi in C e N) e fulvici (più ricchi in O). Esse rappresentano la parte più reattiva in quanto stimolano l'attività microbica e rendono maggiormente disponibili gli elementi minerali alle radici delle piante. Gli acidi umici hanno un'azione riconosciuta più ammendante (intervengono sulla flora microbica del terreno), gli acidi fulvici, invece, svolgono un'azione più biostimolante direttamente sulla pianta (strappano dall'insolubilità i metalli rendendoli disponibili per le piante e riducendo i sintomi di carenza). Il grado di umificazione (DH) invece rappresenta il rapporto tra la frazione umificata estratta (HA+FA) e il C organico estratto: è un parametro qualitativo, con valori compresi tra 0 e 100, che può essere indice di maturità del compost (valori bassi indicano compost non maturi). Discorso analogo può essere fatto per il tasso di umificazione (HR) che rappresenta il rapporto tra la frazione umificata estratta (HA+FA) e il C organico totale; anche in questo caso valori bassi su una scala da 1 a 100 si ottengono per compost non maturi. Infine l'indice di umificazione (HI) rappresenta il rapporto tra la frazione di C org. estratto ma non umificato e quello umico + fulvico (HA+FA) che deve essere intorno a 0,5 quando si tratta di compost maturi.

La scelta della dose di compost da somministrare va fatta tenuto conto di diversi aspetti. L'obiettivo a cui si deve tendere è quello di preservare ed aumentare la fertilità di suoli degradati per basso contenuto di sostanza organica attraverso la definizione di piani di ammendamento in grado di produrre un bilancio della S.O. positivo, tenendo conto degli apporti di N al fine di rispettare i vincoli normativi regionali per la concimazione azotata e tenendo conto anche degli apporti di P e K e del loro bilancio

Generalmente si considera che in base alla classe granulometrica del proprio terreno, l'entità della decomposizione annua ammonta al 2 - 3% nei terreni sabbiosi, 1.7 - 2% nei terreni di medio impasto, 0.5 - 1.5% negli argillosi. In questo modo si può procedere ad una stima delle quantità di s.o. che annualmente si mineralizzano.

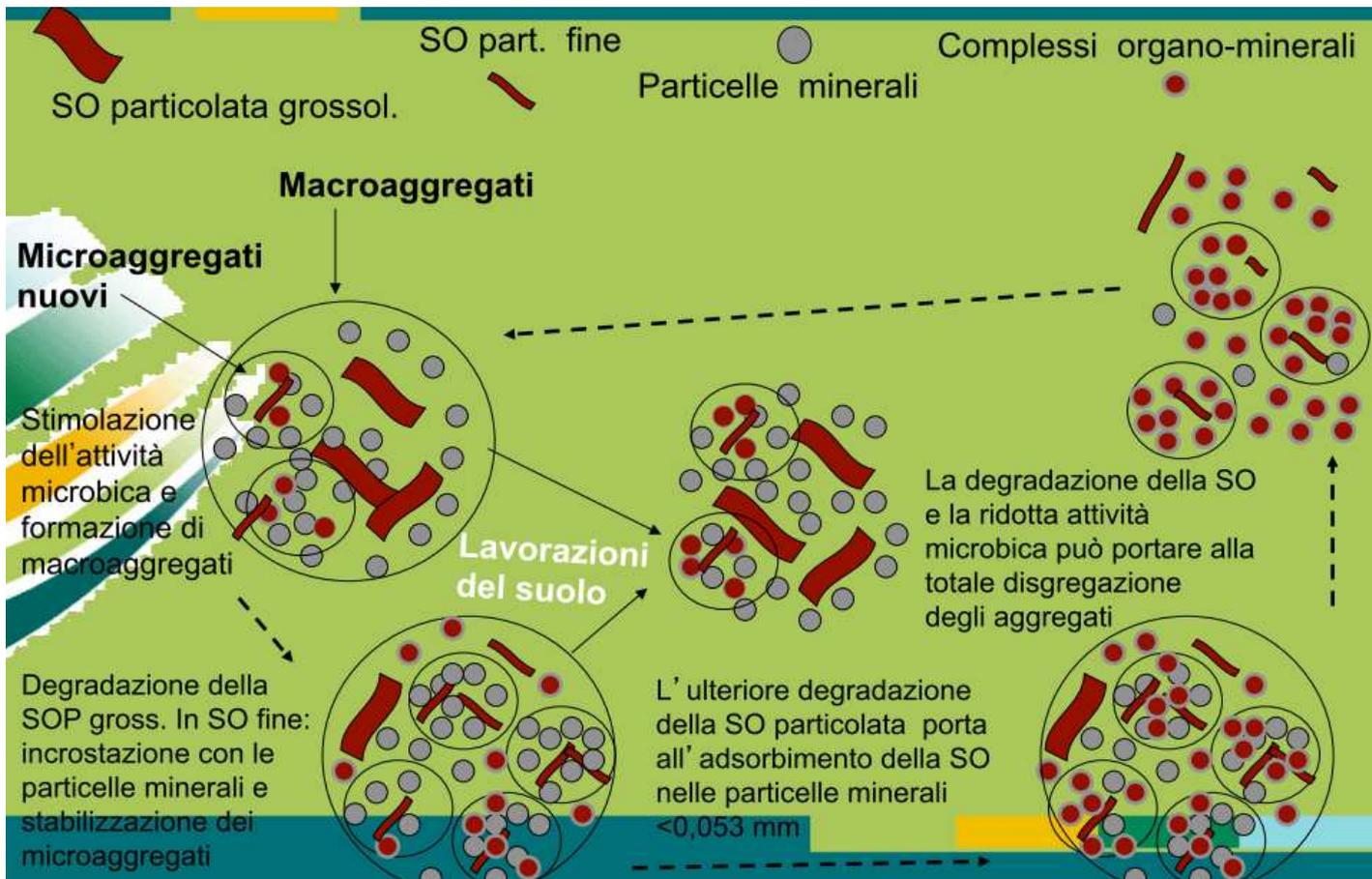
Ad esempio in 1 ha di terreno profondo 35 cm con il 2% di s.o. ed un coefficiente di mineralizzazione del 2% annuo si hanno circa 850 quintali di materia organica di cui 17 vengono mineralizzati ogni anno e che andrebbero ripristinati tenendo conto del contenuto in C del compost e del suo grado di maturazione.

Nella definizione della dose di compost da apportare si deve tenere conto del fatto che ciascun terreno presenta una specifica capacità di stoccare sostanza organica sottraendola alla mineralizzazione.

Il tempo di permanenza del carbonio nel suolo non dipende solo dalle caratteristiche chimiche dei residui organici ma è anche una proprietà dell'ecosistema suolo espressa dall'interazione tra vari fattori quali la presenza di superfici minerali reattive e composti chimici, le attività microbiche, l'incontro nello spazio e nel tempo tra microbi e sostanza organica, la presenza di essudati radicali, il pH, la temperatura e l'umidità (Schmidt et al. 2011).

L'aggregazione delle particelle minerali del suolo non solo protegge la sostanza organica del suolo ma influenza anche la composizione e l'attività della comunità microbica, regola la diffusione dell'ossigeno ed il flusso dell'acqua, determina l'assorbimento ed il rilascio di nutrienti, etc. (Six et al., 2014).

Lo stoccaggio del carbonio organico all'interno e tra gli aggregati del terreno può proteggerlo fisicamente dalla degradazione microbica. Il sequestro di carbonio organico negli aggregati del suolo si basa sulla cosiddetta "Teoria gerarchica e del ciclo di vita degli aggregati" elaborata da Tisdall & Oades (1982).



In base a questa teoria (fig. x), le dotazioni persistenti, transitorie e temporanee di carbonio organico del suolo sono associate a tre differenti unità fisiche del suolo, rispettivamente alla frazione organo-minerale, (composta da argilla e limo e di dimensioni  $< 53 \mu\text{m}$ ), ai microaggregati (di dimensione compresa nel range  $53\text{-}250 \mu\text{m}$ ), ed ai macroaggregati (con dimensioni  $>250 \mu\text{m}$ ). I microaggregati sono formati all'interno dei macroaggregati (Oades, 1984, Angers *et al.*, 1997; Six *et al.*, 2002), di conseguenza la macroaggregazione è il primo importante passo per un sequestro a lungo termine del carbonio immesso nel suolo. La maggiore persistenza del carbonio nella frazione organo-minerale è stata ipotizzata anche da Hassink (1996) che definì la capacità protettiva del suolo come la quantità massima di carbonio che può essere associata alle particelle di limo ed argilla in esso contenuto. ????. Come asserirono Six *et al.* (2004), nella teoria gerarchica la formazione, la stabilizzazione e la degradazione dei macro e dei microaggregati sono direttamente relazionati alle dinamiche della

sostanza organica particolata (POM o SOP), una frazione della sostanza organica totale (SOM). In seguito all'incorporazione dei residui organici nel suolo, i funghi ed altri microrganismi utilizzano il carbonio più facilmente disponibile e producono mucillagini che contribuiscono alla formazione dei macroaggregati attorno alla sostanza organica particolata grossolana all'interno degli aggregati (iPOM di dimensioni comprese tra 250 e 2000  $\mu\text{m}$ ).

Questa frazione è ulteriormente decomposta e frammentata in sostanza organica particolata fine all'interno degli aggregati (iPOM, di dimensioni comprese tra 53 e 250  $\mu\text{m}$ ) che si va ad associare con le particelle minerali a formare un nucleo organico stabilizzato di microaggregati organizzati nuovamente all'interno dei macroaggregati. Di conseguenza, quando si verificano disturbi nel suolo come nel caso delle lavorazioni, aumenta la velocità di turnover dei macroaggregati e della frazione di POM, mentre la POM fine è relativamente meno sensibile agli agenti esterni ed è una frazione della POM più stabilizzata; la frazione più recalcitrante risulta essere quella in cui c'è il carbonio associato alla frazione minerale (Six *et al.*, 1998; Six *et al.*, 2002; Cambardella & Elliott, 1992).

Una prima conseguenza pratica di questa teoria è che anche effettuando un ammendamento organico ripetuto negli anni, non si determinerà automaticamente un continuo aumento del contenuto di sostanza organica nel suolo; l'obiettivo a cui si dovrebbe tendere nell'ottica di un'agricoltura rispettosa dell'ambiente ed allo stesso tempo produttiva, dovrebbe essere quello di ripristinare e poi mantenere livelli di sostanza organica a cui corrisponde un equilibrio stabile del sistema ed una maggiore autonomia da input esterni.

## Diversi approcci - carbonio e azoto

La scelta delle dosi di compost da utilizzare viene fatta generalmente in base ad una delle due seguenti considerazioni

- 1) Utilizzare il compost come un concime e calcolare la dose principalmente in funzione dell'apporto di azoto

2) Utilizzare il compost come un ammendante e calcolare la dose principalmente in funzione dell'apporto di carbonio

Il primo approccio prevede il calcolo della dose di compost da utilizzare in base alla quantità di azoto da fornire per il soddisfacimento dei fabbisogni colturali; ad esempio se una coltura necessita di  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  di N per fornirle tale quantitativo con un compost che abbia un quantitativo totale di azoto del 2%, dovrò somministrare  $10 \text{ t ha}^{-1}$  di compost. In una ricerca sperimentale condotta per 2 anni a Foggia, Ferri et al. confrontano con il controllo non fertilizzato due tesi in cui si forniscono ad una lattuga  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  di N, in una tramite concimi minerali, nell'altra attraverso la somministrazione di compost aziendale. Questo approccio ha un suo limite nel fatto che non si tiene conto del fatto che l'azoto contenuto nel compost è in gran parte sotto forma organica (almeno l'80%) e quindi non è prontamente disponibile per le piante né può essere soggetto a lisciviazione; tale quantitativo di azoto sarà disponibile solo dopo la mineralizzazione della sostanza organica contenuta nel compost che avverrà secondo ritmi variabili ad opera dei microrganismi del suolo. Ragionando in questo modo in pratica si assimila il compost ad un vero e proprio concime minerale. Secondo lo European Compost Network prendendo in considerazione dati relativi a prove di 9-12 anni su mais, grano ed orzo, su  $20 \text{ t ha}^{-1}$  in s.s. di compost, annualmente sono stati forniti alla coltura solo circa  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  di azoto, con  $30 \text{ t ha}^{-1}$  in s.s. di compost solo  $130 \text{ kg ha}^{-1}$  di azoto. In ogni caso nella definizione delle dosi di compost da apportare bisogna restare entro i limiti normativi, in particolare quelli imposti dalla Direttiva Nitrati dell'Unione Europea (1991), da cui è nato nel 2007 nella Regione Campania il Programma d'azione per le zone vulnerabili all'inquinamento da nitrati di origine agricola (ZVNOA). Le zone vulnerabili all'inquinamento da nitrati di origine agricola sono quelle zone di territorio che scaricano direttamente o indirettamente composti azotati in acque già inquinate o che potrebbero esserlo in conseguenza di tali di scarichi. Tali zone sono individuate in ogni regione d'Italia analizzando i dati pedologici ed agro climatici dei vari territori. Nella figura x sono indicate le ZVNOA della regione Campania.



Il Programma d'azione definisce l'insieme delle tecniche di natura agronomica, in primis quella della fertilizzazione azotata, in grado di mitigare il rischio di percolazione dei nitrati nelle acque superficiali e profonde, ed in particolare stabilisce il quantitativo massimo di azoto da fornire al terreno in base alla natura dell'azoto (da reflui animali o da altre fonti), alla zona in cui ricade il terreno ed al tipo di coltura. Nel caso di immissione nel terreno di effluenti zootecnici, il quantitativo massimo di azoto da apportare è di  $170 \text{ kg ha}^{-1}$  all'anno. Nel caso di fertilizzazione con azoto derivante da altre fonti per ogni zona della regione sono stati individuati dei quantitativi massimi da poter apportare per ogni specifica coltura; le zone sono state suddivise in 3 classi, A, B e C, per ognuna delle quali esistono specifici limiti da rispettare. Ad esempio in una successione orticola annuale comprendente pomodoro da industria e cipolla i quantitativi massimi di azoto non proveniente da reflui zootecnici saranno i seguenti:

Zona A: pomodoro da industria ( $209,8$ ) + cipolla ( $128,8$ ) =  $338,6 \text{ kg ha}^{-1}$  all'anno

Zona B: pomodoro da industria (143,3) + cipolla (107,3) = 250,6 kg ha<sup>-1</sup> all'anno

Zona C: pomodoro da industria (147) + cipolla (111) = 258 kg ha<sup>-1</sup> all'anno

Nel Programma di azione per il raggiungimento della soglia massima di azoto nelle ZVNOA non si fa nessuna distinzione tra azoto organico ed inorganico, sebbene la possibilità di lisciviazione nelle falde sia molto diversa tra la due forme di azoto. Ne consegue che anche con la fertilizzazione con il compost, che possiede come detto almeno l'80% di azoto organico, si deve restare entro i limiti imposti dal Programma di azione; quindi se ad esempio si dovesse concimare un suolo ricadente in ZVNOA zona A con un compost contenente il 2% s.s. di azoto, il quantitativo massimo da poter apportare sarebbe dato dalla seguente formula:

Quantità massima di compost da apportare (t s.s. ha<sup>-1</sup>):  $338,6 \text{ kg N} * 100 \text{ kg s.s. compost} / 2 \text{ kg N} = 16930 \text{ kg} = 16,93 \text{ t s.s. ha}^{-1}$

che, considerando un compost con un umidità dell'80%, equivarranno a 20,316 t ha<sup>-1</sup> di tal quale.

Più convincente appare l'approccio al compost come materiale organico in grado di apportare carbonio organico del suolo. Nella scelta delle dosi da apportare al terreno la considerazione che va fatta è che si dovrebbe fornire al terreno una dose di compost tale da almeno bilanciare la quantità di sostanza organica naturalmente persa per mineralizzazione; se si apportano quantitativi di carbonio organico insufficienti non si riesce a recuperare la fertilità del suolo, a permettere il ripristino di una popolazione microbica diversificata ed efficiente ed a migliorare la struttura del suolo, soprattutto in suoli particolarmente degradati dove la dose da apportare deve essere necessariamente più alta.

Sono disponibili diversi manuali divulgativi per il calcolo della resa in humus e della perdita di sostanza organica di un terreno e di conseguenza per stabilire la dose di sostanza organica da apportare in un terreno. Un metodo di calcolo molto seguito in letteratura è il seguente.

Supponiamo di voler mantenere il tenore di sostanza organica in un suolo con 2,5% di s.o. ed un coefficiente di mineralizzazione del 2%. Se il terreno ha una densità apparente di 1,3 t mc<sup>-1</sup>, avremo che il suo peso per i primi 30 cm superficiali in un ettaro sarà pari a:

$$10000 \text{ mq} * 0,3 \text{ m} * 1,3 \text{ t mc}^{-1} = 39000 \text{ t ha}^{-1}$$

La sostanza organica presente nel suolo di conseguenza sarà pari a:

S.O.M. (Soil Organic Matter) =  $39000 \text{ t ha}^{-1} * 0,025 = 97,5 \text{ t ha}^{-1}$  delle quali saranno mineralizzate il 2% quindi:

$$\text{S.O. mineralizzata} = 97,5 \text{ t ha}^{-1} * 0,02 = 1,95 \text{ t ha}^{-1} = 1950 \text{ kg ha}^{-1}$$

Quindi si dovrebbero restituire al suolo  $1950 \text{ kg ha}^{-1}$  di sostanza organica. Supponendo di avere a disposizione un compost con un'umidità del 50%, un contenuto in sostanza organica del 50% ed un coefficiente isoumico del 20% il quantitativo di compost da fornire deriverà dalla formula

$$\text{Quantità di compost (Q) * umidità (U) * coefficiente isoumico (Ki) * Sostanza organica (S.O.) = S.O. mineralizzata}$$

E quindi il calcolo da fare sarà il seguente:

$$\text{Quantità di compost (Q)} = 1950 \text{ kg ha}^{-1} / 0,5 * 0,2 * 0,5 = 39000 \text{ kg ha}^{-1}.$$

Nella tabella seguente sono indicate le dosi di compost necessarie per il mantenimento della sostanza organica del suolo con un compost al 50% di umidità ed un coefficiente isoumico del 20%; le dosi sono stabilite in base alle quantità di sostanza organica presenti sia nel compost che nel terreno.

**Dosi di compost (t/ha) per il  
mantenimento della sostanza organica  
del suolo (compost con umidità 40-50%;  
c.i.= 0.2)**

s.o. suolo (%)	s.o. del compost (% sulla s.s.)			
	35-40	40-45	45-50	50-55
<1.5	24-31	21-27	19-24	17-22
1.5-2	32-41	28-36	25-32	23-29
>2	42-51	37-45	33-40	30-36

Se oltre che mantenere il livello di sostanza organica nel suolo vogliamo anche innalzarlo ad esempio dall'1% al 1,5% in 10 anni considerata una quantità di s.o. pari a  $36000 \text{ kg ha}^{-1}$  (da dove esce sto numero? con i numeri scritti prima dovrebbe essere 39000), con un coefficiente di mineralizzazione del 2% avremo che ogni anno si mineralizzano  $720 \text{ kg ha}^{-1}$  di s.o.

$$36000 \text{ kg ha}^{-1} * 0,02 = 720 \text{ kg ha}^{-1}$$

Se l'obiettivo è un aumento dello 0,5% della s.o. dovrò aggiungere al terreno  $18000 \text{ kg ha}^{-1}$  di sostanza organica.

$$36000 \text{ kg ha}^{-1} * 0,5 = 18000 \text{ kg ha}^{-1}$$

che in 10 anni saranno uguali a  $1800 \text{ kg ha}^{-1}$

$$18000 \text{ kg ha}^{-1} / 10 = 1800 \text{ kg ha}^{-1}.$$

Sommando ai  $1800 \text{ kg}$  così ottenuti per aumentare il contenuto di s.o. nel suolo i  $720$  necessari per mantenere il livello di s.o. nel suolo si avrà un totale di  $2520 \text{ kg ha}^{-1}$

$$1800 \text{ kg ha}^{-1} + 720 \text{ kg ha}^{-1} = 2520 \text{ kg ha}^{-1}.$$

Il quantitativo di compost necessario a fornire questi quantitativi di s.o. al terreno si ottiene dal seguente calcolo:

Quantitativo di compost (Q) = quantitativo di s.o. da apportare / umidità \* s.o. del compost \* coefficiente isoumico e quindi

$$Q = 2520 \text{ kg ha}^{-1} / 0,5 * 0,5 * 0,2 = 50400 \text{ kg ha}^{-1} = 50,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ all'anno}$$

Il sistema di calcolo sopra descritto mostra comunque dei limiti nella sua staticità, spesso non corrisponde a quanto accade nella realtà ed infine non tiene conto del sistema colturale e del tipo di terreno. In ogni caso, per qualunque tabella e calcolo proposto è sempre necessaria una valutazione critica vista la presenza di errori ed approssimazioni, avendo ben chiari i fattori che regolamentano il turn-over della sostanza organica nel terreno. L'approccio più appropriato per una corretta scelta della dose di compost da utilizzare sembra quello di osservare quanto accade realmente nei sistemi agricoli dei vari areali, verificare periodicamente i cambiamenti e gli effetti sul terreno del compost utilizzato ed in base a quanto osservato aggiustare progressivamente la dose da utilizzare. Studi di lungo termine condotti da Morra et al nella Piana del Sele sia in pieno campo a Battipaglia che sotto serra a Pontecagnano su colture orticole hanno dimostrato come apporti eccessivi di compost da forsu non hanno prodotto significativi miglioramenti nella fertilità del suolo né hanno comportato aumenti di produzione significativi rispetto a dosi inferiori; sia in pieno campo che sotto serra la dose di  $45 \text{ t ha}^{-1}$  s.s. all'anno per 3-4 anni non ha determinato significativi incrementi produttivi rispetto a terreni ammendati con  $30 \text{ t ha}^{-1}$  s.s. all'anno ed ha determinato solo un incremento del consumo di sostanza organica e quindi un peggioramento del suo rendimento in termini di sostanza organica che rimane nel sistema (Morra et al. 2007). D'altra parte la tesi ammendata con  $15 \text{ t ha}^{-1}$  s.s. all'anno ha dato interessanti risultati produttivi solo se integrata con concimazione minerale e

non è apparsa soddisfacente nell'ottica di un mantenimento/incremento della sostanza organica; appare allora evidente che l'individuazione delle dosi più efficaci di compost da impiegare in un dato contesto e la loro interazione con altri input (concimi, lavorazioni, irrigazioni, etc.) deve tener conto degli obiettivi che ci si pone. L'impiego di dosi alte ripetute ogni anno può essere sconsigliabile anche in un sistema che non faccia ricorso ad input chimici (es.: agricoltura biologica) in quanto si è visto che maggiore è la quantità apportata, maggiore è la quota che viene mineralizzata e non conservata nel terreno. Alle nostre latitudini vanno usate non meno di 15 t/ha in termini di sostanza secca, tenendo presente che l'ammendamento organico ripetuto negli anni non può determinare un continuo aumento della sostanza organica; nei suoli degradati si deve puntare al ripristino ed al mantenimento di contenuti di sostanza organica a cui corrispondono una maggiore autonomia da input esterni e un equilibrio stabile dell'agro-sistema.

La modulazione di ammendamenti a dosaggi diversi nel tempo al fine di garantire un bilancio positivo del C e rilasci di N proporzionati allo sviluppo delle colture, sembra essere la via da perseguire.

Una volta individuata la dose di compost da somministrare si deve procedere all'incorporazione nel terreno 1 - 2 mesi prima delle semine o dei trapianti (è preferibile ad inizio primavera) alla profondità di 20-25 cm con attrezzi adeguati quale ad esempio potrebbe essere un carro spandiletame nel caso di compost polverulento o degli ordinari spandiconcime nel caso di compost pellettati. La scelta della formulazione del compost va fatta in base ai mezzi a disposizione ed al costo che può essere anche molto differente tra il compost in polvere (dai 15 ai 60 euro a tonnellata a seconda che sia sfusa o in sacchi) e quello pellettato (dai 40 ai 100 euro a tonnellata a seconda che sia sfusa o in sacchi).

L'utilizzo del compost sta prendendo sempre più piede nelle zone agricole anche in Italia, sia quello proveniente da impianti industriali che da compostaggio in azienda e questo va considerato senz'altro un ottimo risultato ai fini del recupero della fertilità di suoli degradati, soprattutto in un sistema produttivo intensivo quale è l'orticoltura di pieno campo o di serra.

## OBIETTIVI

- a) valutare le modifiche indotte dall'utilizzo di compost, integrato o meno da concimi minerali, sulle rese e sulla qualità delle produzioni di una successione orticola biennale costituita da pomodoro da industria e cipolla;
- b) studiare in che misura l'utilizzo costante di compost nel corso degli anni abbia indotto sostanziali modifiche nel contenuto di sostanza organica, stabilmente stoccata nel terreno e sottratta alla dispersione in atmosfera come CO<sub>2</sub>
- c) effettuare un bilancio dell'azoto nei terreni soggetti ad ammendamento per valutare la sostenibilità ambientale del sistema
- d) calcolare l'efficienza del sistema nei confronti dell'utilizzo dell'azoto attraverso il calcolo di alcuni indici
- e) seguire costantemente l'andamento dei nitrati nel terreno per valutarne eventuali liberazioni eccessive dal compost, potenzialmente pericolose per la lisciviazione in falda in determinati periodi dell'anno
- d) valutare altri aspetti del terreno modificabili dall'utilizzo del compost quali la ritenzione idrica, e la varietà microbica

## Materiali e metodi

### Inquadramento pedoclimatico e spiegazione dello schema sperimentale

La prova descritta in questo lavoro è stata condotta presso l'azienda sperimentale del CRA – Unità di Ricerca Colture Alternative al Tabacco (CRA – CAT) di Scafati (Sa), comune dell'agro nocerino-sarnese, nel campo sperimentale indicato nella figura x (coordinate geografiche: 40°44'33"N, 14°30'28"E, altitudine: 9 m s.l.m.),

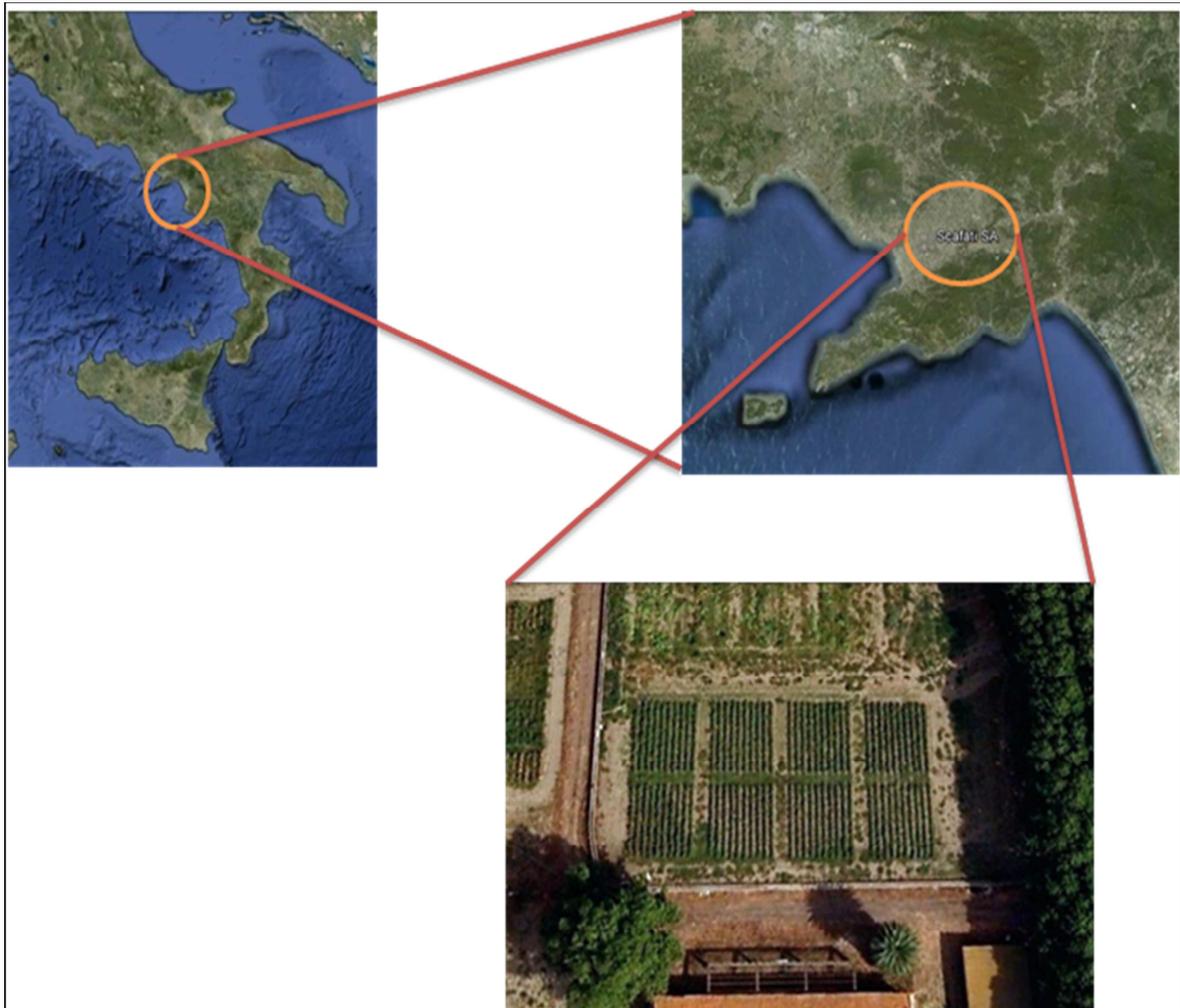
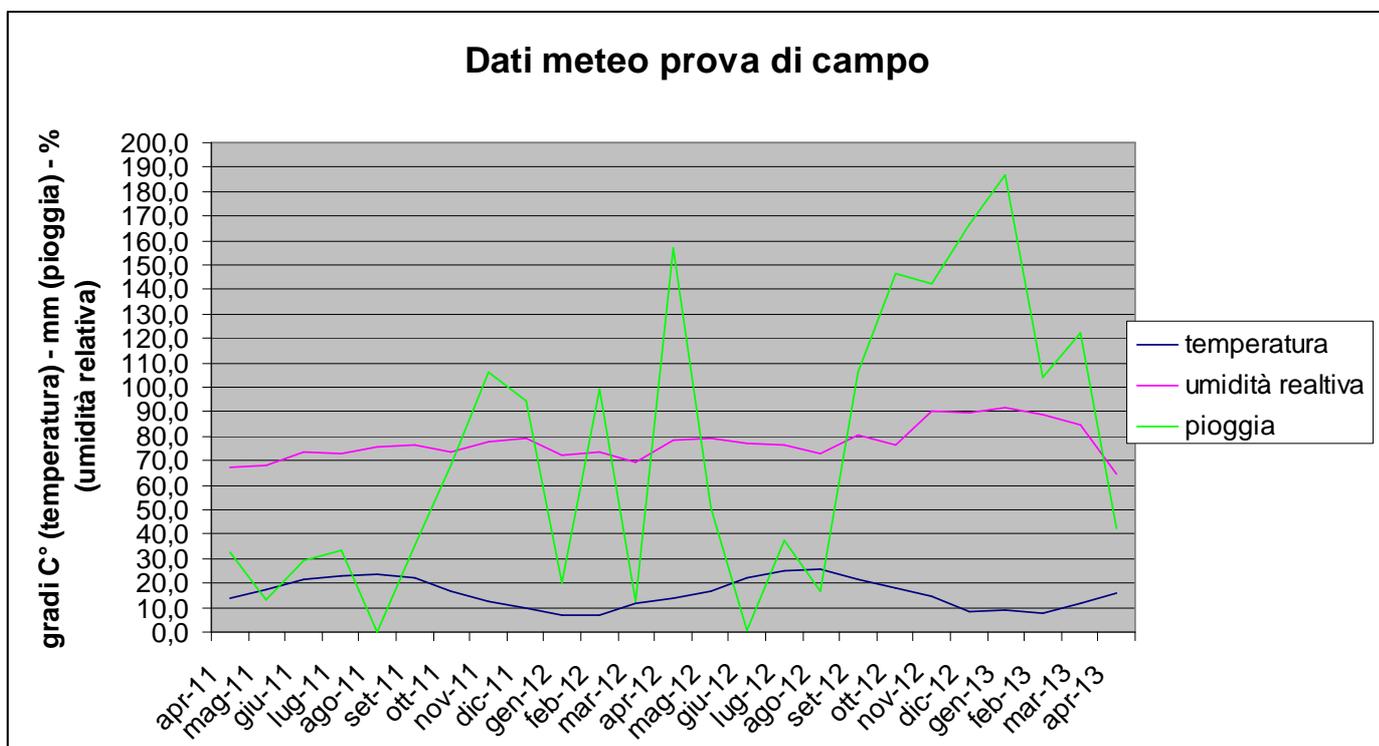


Figura . Area di studio e immagine satellitare del campo sperimentale

Il clima della zona è quello tipico della Valle del Sarno. Riparato per tre lati da alti monti ed aperto ad occidente sul Golfo di Napoli, l'agro sarnese si beneficia della influenza del mare e pertanto il suo clima può definirsi marittimo (Postiglione L. 1957). Per quanto riguarda la raccolta dei dati meteo-pluviometrici ci si è avvalsi sia della capannina meteorologica in dotazione nel sito del CRA – CAT di Scafati sia della stazione di monitoraggio in tempo reale del Centro Funzionale Regionale della Direzione Generale per i Lavori Pubblici e la Protezione Civile, ubicata nel sito di Pompei (Na) ad una distanza di circa 2 km in linea d'aria dal sito oggetto della prova. I dati raccolti relativi all'umidità relativa, alla temperatura ed alla quantità di pioggia caduta sono espressi nel grafico sottostante (fig. x).



Per quanto riguarda le precipitazioni, la media annuale nel periodo interessato dalla prova è stata di 889,2 mm. Il mese più asciutto è risultato Agosto 2011, mese in cui non si è avuto nemmeno un evento piovoso, mentre il mese più piovoso è risultato Gennaio 2013 con 186,6 mm. La zona, pur avendo precipitazioni superiori ai 750 mm, non può considerarsi umida in virtù delle esigue precipitazioni estive che rendono necessarie frequenti irrigazioni alle colture orticole coltivate in

tale periodo. Il clima, tuttavia, non è da considerarsi caldo-arido in quanto l'umidità relativa dell'aria è sempre piuttosto elevata con presenza a volte di nebbia; in particolare nel periodo considerato, l'umidità relativa media è stata dell'77,2% con un valore massimo raggiunto nel mese di Novembre 2012 di 90,3% ed un minimo di 64,9 nel mese di Aprile 2013. L'andamento delle temperature nei mesi da dicembre a febbraio rende la zona favorevole a colture quali finocchio, cavolfiore, lattuga e cipolla. Notevoli sono poi le escursioni termiche durante il giorno soprattutto nel periodo marzo-aprile; in alcune occasioni si sono registrate delle brinate che hanno bloccato le piante all'inizio del loro ciclo colturale. Nel periodo primaverile estivo si sono registrate già dal periodo maggio-giugno temperature piuttosto alte con conseguente precocità nella produzione dei prodotti ortofrutticoli; nel periodo Luglio – Agosto le altissime temperature registrate al mattino e ad inizio pomeriggio hanno determinato a volte una temporanea sofferenza delle piante che hanno però ripreso il loro turgore durante le ore serali.

I suoli del sito in cui si è svolta la prova sperimentale è ubicato nelle aree pianeggianti della pianura alluvionale del fiume Sarno e si sviluppa su depositi di ceneri, pomici e lapilli variamente rielaborati e risedimentati dai corsi d'acqua. Si tratta di suoli calcarei, molto profondi e ben drenati con scheletro scarso in superficie con un contenuto di sostanza organica che decresce irregolarmente con la profondità e reazione sub-alcalina; il pH non varia facilmente anche per la presenza di carbonati di calcio che aumentano marcatamente con la profondità del terreno. La capacità di scambio cationico è piuttosto elevata e decresce con la profondità. Il complesso di scambio, sempre saturo, è dominato dalla presenza del calcio ma anche il magnesio ed il potassio, come consuetudine per i suoli formati dai depositi vesuviani, sono ben presenti.

La prova di campo su cui è incentrato il presente lavoro è stata effettuata su un terreno in cui già dal 2007 era stata portata avanti una prova con disegno sperimentale simile a quello seguito nei due anni di sperimentazione legata alla presente ricerca. In questo lavoro saranno illustrati dettagliatamente i risultati ottenuti nel quinto e sesto anno di sperimentazione facendo riferimento però anche a quanto accaduto nei precedenti 4 anni di sperimentazione.

Quattro strategie di fertilizzazione sono state confrontate: **1)** Fertilizzazione con compost da f.o.r.s.u. alla dose annua di 30 t ha<sup>-1</sup> di sostanza secca (s.s.) pari a circa 40 t ha<sup>-1</sup> di tal quale (t.q.) per i primi tre anni, e alla dose di 15 t ha<sup>-1</sup> all'anno di s.s. (= 20 t ha<sup>-1</sup> di t.q.) dal quarto anno (**C 30** per i primi 3 anni e **C 15** per il quarto anno); **2)** Fertilizzazione con compost da f.o.r.s.u. alla dose annua di 15 t ha<sup>-1</sup> di s.s. + concimazione minerale azotata ad una dose pari a 1/2 di quella distribuita per la tesi MIN (**C15+N/2**); **3)** Fertilizzazione minerale alla dose ottimale, definita in base alle linee guida regionali, per ogni coltura in avvicendamento (Regione Campania, 2003) (**MIN**); **4)** Controllo non fertilizzato (**CNT**). Nel primo Ogni trattamento è stato replicato 4 volte in uno schema sperimentale a blocchi randomizzati. La dimensione di ogni parcella era di 50 m<sup>2</sup>.

Si è arrivati all'utilizzo di queste dosi di compost partendo dai risultati emersi in una precedente sperimentazione che prevedeva un ammendamento pluriennale con compost effettuata con un impianto sperimentale simile da Morra et. al (2007) a Battipaglia (Sa) dal 2003 al 2005. Successivamente si è seguito un approccio basato su quanto realmente accadeva nel sistema agricolo, aggiustando progressivamente le dosi in base ai risultati ottenuti nei primi anni di sperimentazione. Per la tesi che prevedeva come modalità di fertilizzazione l'utilizzo del solo compost, si è scelto di abbassare la dose da 30 a 15 t s.s. ha<sup>-1</sup> dal quarto anno in poi perché si è ritenuto soddisfacente l'aumento di sostanza organica ottenuto già con la dose di 15 t ha<sup>-1</sup> nella tesi che prevedeva una fertilizzazione mista con compost e concimi minerali; inoltre, essendo il terreno su cui è stata condotta la prova a Scafati, comune la cui superficie territoriale è designata come totalmente vulnerabile ai nitrati di origine agricola (ZVNOA), si è scelto di diminuire la dose per stare entro i limiti imposti dal Programma d'azione per le zone vulnerabili all'inquinamento da nitrati di origine agricola della Regione Campania. In base al programma sopra citato nelle ZVNOA, per le zone ricadenti in fascia A, il quantitativo di azoto massimo consentito ad ettaro è di 210 kg per il pomodoro da industria e di 129 per la cipolla per un totale di 339 kg; somministrando 30 t ha<sup>-1</sup> di compost con un contenuto del 2,2% di azoto si arriverebbe a dare 660 kg ha<sup>-1</sup> di azoto, quindi ben al di sopra del limite massimo consentito, mentre con 15 t ha<sup>-1</sup> si forniscono al terreno

330 kg ha<sup>-1</sup> di azoto, quantitativo al di sotto del limite massimo. L'ammendamento è stato effettuato sempre pochi giorni prima del trapianto della coltura primaverile – estiva.

Il compost utilizzato per l'ammendamento è stato fornito dalla ditta Progeva e presentava le seguenti caratteristiche:

**Tab. Caratteristiche del compost utilizzato (ditta PROGEVA)**

<b>Umidità (%)</b>	46	
<b>pH</b>	6-8	
<b>C ORG (%)</b>	28	(SU S.S.)
<b>Acidi fulvici e umici (%)</b>	8	(SU S.S.)
<b>N tot (%)</b>	2,2	(SU S.S.)
<b>N org (%)</b>	2	(SU S.S.)
<b>% N org/ N tot (%)</b>	91	
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%)</b>	0,8	(SU S.S.)
<b>K<sub>2</sub>O (%)</b>	1,8	(SU S.S.)
<b>C/N</b>	12,727	
<b>Cu (ppm)</b>	110	
<b>Zn (ppm)</b>	250	
<b>Salinità (meq/100 g)</b>	21	

Considerata l'umidità, dunque, gli apporti annui di compost da fornire per somministrare 15 t ha<sup>-1</sup> di s.s. sono stati pari a circa 27,8 t ha<sup>-1</sup> (peso fresco); con tali dosi gli apporti di carbonio e di macroelementi forniti sono i seguenti: 4,2 t ha<sup>-1</sup> di C, 330 kg ha<sup>-1</sup> di N (di cui 300 in forma organica), 120 kg ha<sup>-1</sup> di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 270 kg ha<sup>-1</sup> di K<sub>2</sub>O;

Il terreno che ha ospitato la prova è di tipo limoso-sabbioso e all'inizio della sperimentazione (maggio 2007) presentava le seguenti caratteristiche chimiche: sostanza organica = 22 g kg<sup>-1</sup>, C

organico = 12,6 g kg<sup>-1</sup>; pH = 8,0; N tot = 1,5 g kg<sup>-1</sup>; rapporto C/N = 8,4; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilabile = 115 mg kg<sup>-1</sup>; K<sub>2</sub>O scambiabile = 758 mg kg<sup>-1</sup>.

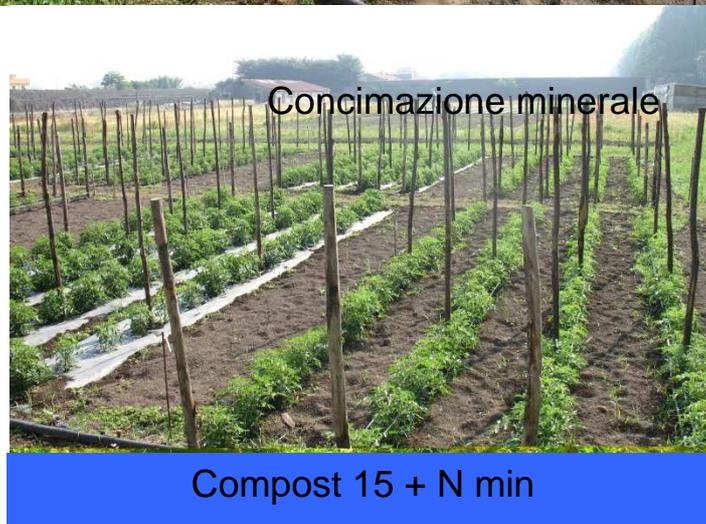
Dopo 4 anni di conduzione secondo le modalità indicate in precedenza, il terreno nelle varie parcelle presentava le caratteristiche chimiche indicate in tabella x.

	MIN	CNT	C 15	C 15 + N/2
<b>pH in acqua (1:2,5)</b>	8,3	8,5	8,4	8,4
<b>EC 25 °C (1:2)</b>	0,2	0,2	0,3	0,2
<b>Carbonio organico</b>	12,5	12,5	19,4	16,0
<b>Sostanza organica</b>	21,6	21,5	33,4	27,5
<b>Azoto tot.</b>	1,2	1,1	1,7	1,5
<b>Rapporto C/N</b>	10,9	11,6	11,2	10,9
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assim.</b>	74,5	51,1	84,4	74,9
<b>K scambiabile</b>	686,3	692,6	767,0	759,1
<b>Na scambiabile</b>	105,6	94,4	84,4	142,5
<b>Ca scambiabile</b>	1935,2	1801,7	2306,1	2144,8
<b>Mg scambiabile</b>	418,1	470,8	445,3	419,7

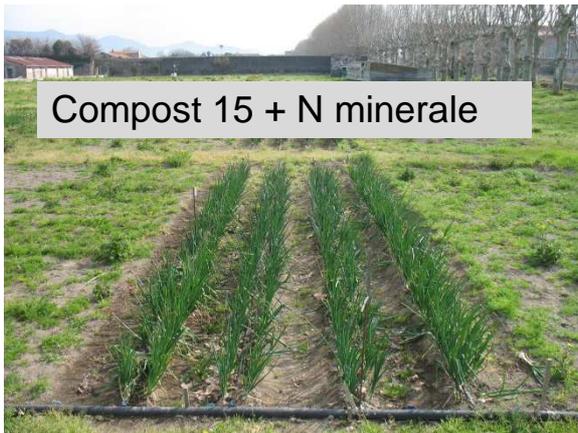
Nei primi tre anni la successione colturale è stata melanzana nel ciclo primaverile-estivo e scarola in quello autunno-vernino, nel quarto anno pomodoro nel ciclo primaverile-estivo e cavolfiore in quello autunno-vernino, nel quinto e sesto anno, che quindi corrispondono al primo ed al secondo anno di studio del presente lavoro, pomodoro (*Lycopersicon esculentum*, cv. San Marzano Kiros) nel ciclo primaverile-estivo e cipolla (*Allium cepa*, cv. Bianca di Pompei marzatica tardiva nel 2011 e aprilatica nel 2012) in quello autunno-vernino. Mentre per la coltivazione della cipolla il suolo è stato lasciato totalmente nudo, su pomodoro in entrambi gli anni le parcelle sono state per metà pacciamate e per metà coltivate a suolo nudo; nel 2011 si è utilizzato esclusivamente il telo pacciamante biodegradabile in Mater – Bi, nel 2012 la superficie pacciamata è stata coperta per metà con il telo in Mater – Bi e per metà con telo pacciamante nero non biodegradabile in polietilene. Nel presente lavoro, nella discussione dei risultati del pomodoro le parcelle pacciamate sono state indicate con “P”, quelle non pacciamate con “NP”; nel secondo anno le parcelle pacciamate con telo biodegradabile sono state indicate con “PB”, quelle pacciamate con telo non biodegradabile con “PE” e quelle non pacciamate con “NP”.

I residui colturali delle colture primaverili-estive sono stati interrati, quelli delle colture autunno-vernine sono stati rimossi.

Il pomodoro (fig. x) è stato coltivato con pali e fili per allevamento verticale su fila singola. La dose di concimazione utilizzata nella dose MIN è composta da 175 kg ha<sup>-1</sup> di N, 50 kg ha<sup>-1</sup> di K<sub>2</sub>O e 50 kg ha<sup>-1</sup> di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, quest'ultimo fornito tutto in pre-impianto, mentre l'azoto ed il potassio sono stati distribuiti in piccola parte in pre-impianto e, successivamente, attraverso circa 10 fertirrigazioni localizzate con ali gocciolanti, durante la fase di crescita. . Sono state trapiantate 2 piante per m<sup>2</sup> con una distanza di 1 metro tra i filari e di 50 cm tra le piante della stessa fila. Avendo il pomodoro San Marzano una maturazione scalare, la raccolta è stata completata in 2 passaggi nel primo anno ed in 3 passaggi nel secondo. Per il piano di difesa antiparassitaria sono stati utilizzati i seguenti principi attivi: azadiractina contro i nematodi, rame, cymoxanil, mandipropamide e azoxistrobin contro la peronospora, imidacloprid contro gli afidi, indoxacarb e spinosad contro il lepidottero *Tuta absoluta*.



La cipolla (fig. x) è stata trapiantata con una densità di 24 piante per m<sup>2</sup> nel primo anno e 28,5 piante per m<sup>2</sup> nel secondo anno, su file binate; le piante della tesi MIN sono state concimate con una quantità di azoto pari a 90 kg ha<sup>-1</sup> fornito come nitrato ammonico al 26% distribuito in 3 interventi in copertura: il 20% una settimana prima del trapianto, il 40% a metà gennaio e il restante 40% a metà febbraio. Interventi di diserbo sono stati effettuati con pendimetalin, ioxinil e fluoziloparabutile. Per quanto riguarda le altre avversità sono stati effettuati interventi con cimoxanil contro la peronospora, pyraclostrobin + boscalid contro la botrite e spinosad contro i tripidi. Sono stati poi effettuati interventi di sarchiatura a mano. Nel secondo anno le notevoli piogge verificatesi hanno causato condizioni non ideali per la crescita della coltura; inoltre, per problemi organizzativi, la raccolta è stata leggermente anticipata rispetto alla perfetta maturazione commerciale dei bulbi.



L'agrosistema è stato gestito in modo da limitare le lavorazioni del terreno ed è in questa ottica che per il pomodoro si è provveduto alla pacciamatura. Il terreno che ha ospitato la prova ogni anno è stato arato a 30 cm e ripuntato a 50 cm. Per le colture primaverili-estive sono stati effettuati un passaggio con motocoltivatore sulle parcelle ammendate per interrare il compost, una fresatura a 20 cm per preparare il terreno al trapianto delle piantine ed un'altra fresatura a 20 cm per interrare i residui colturali. Per le colture autunno-vernine sono state effettuate un paio di fresature a 20 cm prima del trapianto della coltura e durante lo sviluppo della coltura. Per quanto riguarda l'irrigazione è stata effettuata solo per il pomodoro considerando che nel periodo autunno-vernino in cui è cresciuta la cipolla le piogge e le condizioni di umidità del terreno non hanno reso necessari interventi irrigui. Su pomodoro sono stati dati mediamente circa 5 000 m<sup>3</sup> di acqua all'anno.

### *Rilievi*

a) Rilievi produttivi:

Alla raccolta delle colture sono state misurate le produzioni ottenute, lo scarto, diviso per tipologia di scarto, ed il peso medio del frutto o del bulbo. E' stata determinata la sostanza secca delle foglie, dei fusti e dei frutti nel pomodoro e quella dei bulbi, delle radici e delle foglie nella cipolla.

b) Rilievi biometrici:

per le cipolle sono stati misurati i seguenti parametri: lunghezza della pianta, diametro ed altezza del bulbo

b) Rilievi qualitativi

Sui frutti di pomodoro sono stati misurati il pH, l'acido ascorbico e l'acido citrico

Sui bulbi di cipolla è stato misurato il grado Brix dei bulbi

c) Rilievi fitopatologici

E' stata valutata la presenza di eventuali problematiche fitopatologiche sulle colture. Per il pomodoro in occasione dell'ultima raccolta sono state estirpate 5 piante per parcella per valutare eventuali patologie ai danni della radice.

*Analisi effettuate*

*a) suolo*

Sono state effettuate analisi chimiche e fisiche su campioni di terreno. Per le analisi chimiche sono stati effettuati prelievi di suolo mediante una trivella, da tre punti di ogni parcella per ogni strato di suolo considerato; i tre subcampioni di ogni parcella sono stati mescolati per ottenere un campione medio. I campioni sono stati setacciati con un setaccio a maglie di 2 mm. La percentuale di sostanza secca di ogni campione è stata determinata seccando un sub campione per una notte a 105° C.

Ogni anno, subito prima dell'ammendamento, sono stati prelevati dei campioni di terreno nello strato 0-30 cm per misurare i principali parametri della fertilità chimica del suolo (C organico, N totale, P assimilabile, K, Mg, Ca, Na scambiabili, conducibilità elettrica, C.S.C.).

Per la determinazione del contenuto di carbonio organico i campioni sono stati finemente macinati fino a raggiungere un diametro <500 µm ed analizzati attraverso il metodo di Walkley-Black modificato come descritto da Nelson e Sommers (1982); è stato applicato un fattore di conversione di 1,3 per rendere i valori comparabili a quelli ottenuti determinando il carbonio organico tramite ossidazione secca.

L'azoto totale del suolo è stato determinato attraverso il metodo Kjeldhal (digestione e successiva distillazione del campione).

Sono state effettuate poi, seguendo i metodi ufficiali di analisi chimica del suolo pubblicati sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, le seguenti determinazioni:

- determinazione del pH (metodo ufficiale n°III.1 Supplemento Ordinario G.U. n° 248 del 21/10/1999 (Posizione Internazionale ISO 10390))
- determinazione della conducibilità elettrica (metodo ufficiale n° IV.3 Supplemento Ordinario G.U. n° 248 del 21/10/)
- determinazione di anioni e cationi (EN 13652)

Al fine di valutare l'entità del rilascio di N minerale e la sua distribuzione nel tempo e lungo il profilo del suolo in seguito all'ammendamento, è stato condotto un monitoraggio del contenuto di nitrati nel suolo, prelevando mensilmente campioni di terreno negli strati 0-30, 30-60 e, limitatamente ad alcuni periodi a maggior rischio di lisciviazione nelle falde, 60-90 cm, per tutto il quinto e sesto anno. Sui campioni prelevati è stato determinato l'azoto minerale (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) mescolando ogni campione per circa mezz'ora in una soluzione di acido acetico, filtrandolo e misurando il

contenuto di azoto con un colorimetro di flusso (Auto-Analyzer III, Braun Luebbe) secondo la reazione di Berthelot per l'ammonio e secondo quella di Griess-Ilosvay per i nitrati. Nel periodo di inizio e fine ciclo di ogni coltura sui campioni di terreno prelevati è stato determinato sia il contenuto di azoto nitrico che quello di azoto ammoniacale in quanto necessari ai fini del calcolo del bilancio dell'azoto (vedi paragrafo "surplus di azoto"), mentre nei restanti prelievi di terreno è stato determinato solo il contenuto di azoto nitrico ai fini della valutazione delle possibilità di lisciviazione

#### *b) parti vegetali*

Alla raccolta sono stati prelevati campioni di parti vegetali per determinarne la sostanza secca e successivamente il contenuto di azoto organico e minerale con le stesse metodiche utilizzate per il suolo.

Per il pomodoro sono stati prelevati campioni della parte epigea (foglie, fusti e frutti); non sono stati prelevati campioni di radici in quanto esse sono restate nel terreno e, pertanto, non contribuiscono alla quota di asportazioni del pomodoro.

Sono state campionate 4 piante per ogni parcella (2 sulla zona pacciamata e 2 sulla zona non pacciamata) e per ogni pianta, privata dei frutti, è stato determinato il peso fresco del fusto e delle foglie; successivamente è stato determinato il peso fresco di un sub campione di ognuna delle parti delle piante estirpate ed infine, i campioni sono stati essiccati in stufa a 60°C fino al raggiungimento di un peso costante. Per ogni parcella sono stati prelevati poi 5 frutti che sono stati prima pesati freschi e poi essiccati in stufa a 60°C fino al raggiungimento di un peso costante. I campioni così ottenuti sono stati sottoposti ad analisi per valutarne il contenuto di azoto organico e minerale.

Per la cipolla sono state campionate 5 piante per parcella su cui è stato determinato il peso fresco dei bulbi, delle radici e delle foglie; i campioni sono poi stati essiccati in stufa a 60°C fino al raggiungimento di un peso costante e poi sottoposti ad analisi per valutarne il contenuto di azoto organico e minerale.

In seguito ai risultati ottenuti dalle analisi dei campioni vegetali sono stati calcolati per entrambe le colture gli assorbimenti e le asportazioni; per assorbimento si è intesa la quantità di azoto, per unità di prodotto, assorbita dalla pianta e localizzata nei frutti e negli altri organi (culmo, fusto, foglie e radici), mentre per asportazioni si è considerata la quantità di azoto, per unità di prodotto, asportata dalla parte commerciale della pianta.

## **DEFINIRE BENE GLI ASSORBIMENTI/ASPORTAZIONI CONSIDERATI E COME SONO STATI OTTENUTI**

### *c) Acqua*

All'inizio di ogni ciclo primaverile-estivo è stato prelevato un campione di acqua dal pozzo col quale il campo della prova è stato irrigato; sul campione è stato determinato il contenuto di azoto minerale secondo le metodiche ufficiali (determinazione colorimetrica al blu indolfenolo dell'azoto ammoniacale e determinazione spettrofotometrica mediante salicilato di sodio).

### *Analisi fisiche*

La densità apparente del suolo è stata misurata 2 volte all'anno attraverso il metodo del carotaggio (Grosman e Reinsch, 2002).

Ad inizio del quinto anno è stata misurata la capacità di ritenzione idrica del terreno a 3, 6 e 12 atm attraverso il metodo delle piastre Richard. Tale misurazione è stata poi ripetuta alla fine del sesto anno.

### **Surplus di azoto (dovrei dire che lo faccio per entrambi gli anni)**

Il surplus di azoto (N surplus) si calcola secondo la seguente formula:

**N surplus** = fr + om + w + cr + atm - (yb + l + i) dove

fr = quantità di azoto fornita con la fertilizzazione

om = azoto mineralizzato dalla sostanza organica

w = azoto apportato con l'acqua di irrigazione

cr = azoto proveniente da residui della coltura precedente

atm = azoto proveniente da deposizioni atmosferiche

y = produzione totale di sostanza secca

b = asportazioni unitarie delle colture

l = azoto lisciviato

i = azoto immobilizzato

Da questa formula si è arrivati poi ad un bilancio dell'azoto semplificato considerando trascurabili alcune voci, pertanto la formula del surplus di azoto applicata in questo lavoro è la seguente:

$N \text{ surplus} = \min_i + fr + w + cr + om - (yb + \min_f)$  dove

$\min_i$  = contenuto iniziale di azoto minerale nel suolo

$\min_f$  = contenuto di azoto minerale nel suolo dopo la raccolta

L'azoto mineralizzato dalla sostanza organica è stato calcolato nelle parcelle non fertilizzate: alla quantità di azoto assorbito dalle piante di pomodoro e cipolle è stata sottratta la differenza tra la quantità di azoto minerale iniziale e quella a fine ciclo (Fagnano et al., 2008)

Come azoto proveniente dall'irrigazione si è calcolato un dato medio annuo pari a  $22,26 \text{ kg ha}^{-1}$  considerando che l'acqua di irrigazione per entrambi i campionamenti effettuati è risultata contenente circa  $4,5 \text{ mg l}^{-1}$  di azoto nitrico e considerando che mediamente sono stati dati circa  $5000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  di acqua con l'irrigazione. I calcoli effettuati sono riportati qui sotto:

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l}$$

$$4,52 \text{ mg N l}^{-1} * 4\,925\,000 \text{ l ha}^{-1} = 22\,261\,000 \text{ mg ha}^{-1} = 22,26 \text{ kg ha}^{-1}$$

### **Indici di efficienza dell'azoto**

Sono stati calcolati i seguenti indici di efficienza d'uso dell'azoto:

#### **- Apparent Recovery Fraction (ARF)**

$$\text{ARF (\%)} = (U_f - U_0) / N_f \text{ dove}$$

$N_f$  = dose di azoto fornita con la fertilizzazione (kg ha<sup>-1</sup>)

$U_f$  = assorbimento dell'azoto nelle parcelle fertilizzate (kg ha<sup>-1</sup>)

$U_0$  = assorbimento dell'azoto nelle parcelle non fertilizzate (kg ha<sup>-1</sup>) (Greenwood et al., 1989)

Considerando che l'ammendamento è stato effettuato annualmente, per ottenere risultati comparabili, si è calcolato l'ARF prendendo in considerazione le quantità di azoto fornite ed assorbite dalle colture in un'intera annualità, quindi prendendo in considerazione le due colture assieme e non singolarmente.

#### **- Efficienza d'uso dell'azoto assorbito (NaUE):**

$$\text{NaUE sulla biomassa secca totale prodotta} = \text{TDM} / U_f \text{ (Delogu et al., 1998) dove}$$

$\text{TDM}$  = sostanza secca totale della biomassa epigea

$U_f$  = assorbimento dell'azoto

$$\text{NaUE sulla produzione commerciabile} = Y / U_f \text{ dove}$$

$Y$  = produzione commerciabile della

$U_f$  = assorbimento dell'azoto (Tei et al., 1999)

Al fine di valutare la lisciviazione dei nitrati, sono stati posizionati 8 lisimetri ad una profondità di 90 cm dalla superficie del suolo e le soluzioni circolanti prelevate sono state analizzate. Tuttavia il funzionamento dei lisimetri non è stato soddisfacente in quanto in moltissimi tentativi di prelievo di soluzione circolante effettuati non si riusciva a raccogliere nemmeno una goccia di campione; pertanto i risultati emersi dalle analisi delle poche soluzioni circolanti prelevate non sono stati presi in considerazione in quanto poco significativi.

All'inizio del sesto anno di coltivazione quando il pomodoro era stato da poco trapiantato sono state interrate delle sonde per la rilevazione della temperatura del terreno per verificare eventuali differenze di temperatura tra le diverse tesi.

I dati raccolti sono stati sottoposti ad analisi della varianza (ANOVA) ed è stata effettuata la separazione delle medie attraverso il test di Tukey (HSD). Nel caso di dati che presentavano una distribuzione non normale o una varianza non omogenea (eteroschedasticità), prima di effettuare l'analisi della varianza si è provveduto alla trasformazione dei dati tramite trasformazione logaritmica o radice quadrata. Per l'analisi della varianza è stato utilizzato il software Statistica versione 7.

# Risultati

## Primo anno

### a) pomodoro

#### Rilievi produttivi

**Tabella x a– Dati produttivi e sostanza secca – Pomodoro I anno**

Nelle tabella a e b sono riassunti i principali dati produttivi emersi dalla coltivazione del pomodoro nel primo anno di sperimentazione.

Fertilizzazione	Pacciamatura	Produzione commerciabile (t ha <sup>-1</sup> )	Produzione totale (t ha <sup>-1</sup> )	Scarto su produzione totale (%)	Marciume apicale su produzione totale (%)	Peso medio frutto (g)	s.s. totale (t ha <sup>-1</sup> )	s.s. frutto (%)
C 15	NP	45,05 ab	54,89 ab	18,49 b	11,05 ab	56,07	6,05 ab	7,42
C 15	P	44,84 ab	53,89 ab	17,60 b	11,52 ab	58,48	6,69 b	7,33
C15+N/2	NP	40,50 abc	51,03 ab	20,87 ab	9,03 b	52,77	6,97 b	6,58
C15+N/2	P	57,51 a	70,12 a	18,14 b	9,75 b	53,80	8,02 a	6,14
CNT	NP	18,43 c	26,68 c	31,18 a	19,48 a	52,77	3,14 c	7,09
CNT	P	29,74 bc	35,54 bc	16,32 b	10,64 ab	57,73	3,69 c	6,52
MIN	NP	41,12 abc	49,78 ab	17,74 b	12,03 ab	52,78	5,68 b	7,31
MIN	P	46,33 ab	59,31 a	22,69 ab	13,07 ab	56,43	5,87 ab	7,03

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

**Tabella x b – Dati produttivi e sostanza secca – Pomodoro I anno**

Tesi	Produzione commerciabile (t ha <sup>-1</sup> )	Produzione totale (t ha <sup>-1</sup> )	Scarto su produzione totale (%)	Marciume apicale su produzione totale (%)	Peso medio frutto (g)	s.s. totale (t ha <sup>-1</sup> )	s.s. frutto (%)
C 15	44,94 a	54,39 a	18,04	11,29 ab	57,28	6,51 a	7,38 a
C15+N/2	49,00 a	60,57 a	19,50	9,39 b	53,28	6,85 a	6,36 b
CNT	24,08 b	31,11 b	23,75	15,06 a	55,25	3,41 b	6,80 ab
MIN	43,73 a	54,55 a	20,22	12,55 ab	54,61	6,28 a	7,17 ab
NP	36,27 b	45,59 b	22,07 a	12,90	53,60 b	5,41 b	7,10
P	44,60 a	54,71 a	18,69 b	11,25	56,61 a	6,11 a	6,75

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

È emerso che complessivamente le tesi ammendate hanno fatto registrare risultati produttivi analoghi a quelli della tesi fertilizzata con concimi minerali, e la pacciamatura ha permesso di ottenere rese superiori. La produzione commerciabile di C 15 +N/2 P 57,51 t ha<sup>-1</sup> è risultata la più

elevata e significativamente superiore ad entrambi i controlli (pacciamato e non rispettivamente 29,74 e 18,43 t ha<sup>-1</sup>), mentre per il resto non ci sono state differenze significative tra le tesi. Analizzando singolarmente i due fattori a confronto si evidenzia come tra le tesi sottoposte a concimazione o ammendamento non vi siano differenze che invece si riscontrano con il controllo non fertilizzato (CNT = 24,08, MIN = 43,72, C 15 = 44,94 e C 15+N/2 = 49,00 t ha<sup>-1</sup>) mentre con la pacciamatura si sono ottenute mediamente produzioni superiori a quelle delle tesi non pacciamate (44,60 vs 36,27 t ha<sup>-1</sup>). La produzione totale comprendente quella commerciabile più lo scarto ha fatto registrare andamenti del tutto simili a quelli della produzione commerciabile. Il testimone non fertilizzato, nella tesi non pacciamata ha fatto registrare il valore percentuali più elevato di scarto (31,18 %) ed in generale nelle tesi non pacciamate si è avuto uno scarto maggiore del 3,38% rispetto a quelle pacciamate. Nell'ambito dello scarto particolare rilevanza in tutte le tesi a confronto ha assunto il marciume apicale, fisiopatia a cui in generale il pomodoro San Marzano - Kiro è un ecotipo particolarmente sensibile; la fisiopatia è dovuta ad un mancato assorbimento di calcio da parte del frutto principalmente a causa di squilibri idrici durante il periodo di crescita del frutto. Tra le diverse tesi in ogni caso le migliori performances sono state ottenute con le tesi C 15+N/2 che sia con che senza pacciamatura ha prodotto frutti con percentuali di marciume apicale inferiori al testimone non pacciamato (C 15+N/2 NP= 9,03, C15+N/2 P=9,75 e CNT NP=19,48%); anche esaminando i singoli fattori i risultati ottenuti dalla tesi mista sono migliori di quelli del controllo (C 15+N/2 = 9,39 e CNT= 15,06%) e non differenti da quelli delle altre tesi, mentre non vi sono differenze significative tra la tesi pacciamata e quella non pacciamata. CNT ha fatto registrare una percentuale di marciume apicale significativamente più elevata delle parcelle c 15 + N/2. Rispetto alla modalità di fertilizzazione non sono emerse differenze significative nel peso medio del frutto tra le varie tesi, mentre le tesi pacciamate con un peso medio di 56,61 g hanno prodotto frutti mediamente più pesanti di quelle non pacciamate attestatesi sui 53,60 g. Non ci sono state differenze nel quantitativo di sostanza secca delle piante tra le tesi ammendate ed il minerale, mentre sulla pacciamatura le piante hanno prodotto una maggior quantità di sostanza secca (0,7 t ha<sup>-1</sup> in più). Nella sostanza secca della pianta è emersa una parità tra tutte le tesi e per entrambi i fattori a confronto con una media di circa il 20% mentre la sostanza secca del frutto si è attestata sul 6,92 % con una differenza significativa tra C15 (7,38 %) e C15+N/2 (6,36 %).

## Rilievi qualitativi

Sono stati misurati anche alcuni parametri qualitativi del frutto come riportato in tabella x. Se per il pH non ci sono state differenze tra le tesi con una media di 4,28, sono emersi dati interessanti per quel che riguarda l'acidità; le tesi ammendate hanno prodotto frutti di maggiore acidità in quanto l'acido ascorbico dei frutti di C 15 (36,5 mg 100 g<sup>-1</sup>) è risultato maggiore che in MIN (27,5 mg 100 g<sup>-1</sup>) e CNT (29 mg 100 g<sup>-1</sup>) e non differente da C15+N/2 (30,0 mg 100 g<sup>-1</sup>), mentre l'acido citrico contenuto nei frutti di C15 (0,56 %) è stato in assoluto il più elevato con differenze significative con C15+N/2 (0,53 %) a sua volta superiore a MIN (0,50 %) e CNT (0,48 %).

### **Tabella x – ph, acido ascorbico e acido citrico dei frutti – Pomodoro I anno**

FERTILIZZAZIONE	pH	Acido ascorbico (%)	Acido citrico (%)
C 15	4,30	36,50 a	0,57 a
C15+N/2	4,32	30,00 ab	0,53 b
CNT	4,26	29,00 b	0,49 c
MIN	4,25	27,50 b	0,50 c

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

## Rilievi fitopatologici

Nel corso della coltivazione si sono avuti problemi di virosi attribuibili a CMV (virus del mosaico del cetriolo), in particolare dalla seconda raccolta in poi; in seguito all'estirpazione delle piante in occasione dell'ultima raccolta sono emersi problemi di nematodi e di *Pyrenochaeta lycopersici*. Dai rilievi effettuati non sono emerse differenze significative tra le tesi a confronto per ognuna delle problematiche sopra citate.

## Assorbimenti ed asportazioni

Nelle tabelle x a e b sono riportati vari indici di assorbimento ed asportazione della coltura

**Tabella x a – Assorbimenti ed asportazioni – Pomodoro I anno**

FERT.	PACC.	assorbimento N (kg/ha)	assorbimento N (TOTAL E) (kg/ha)	Asportazione N coltura (N TOT) (kg/t)	ASSORBIMENTO N coltura (kg di N assorbito DA TUTTA LA PIANTA) su tonnellata di sostanza prodotta dalla pianta) (kg/t)	ASPORTAZIONI SU FRESCO (kg di N asportato DAI FRUTTI su tonnellata di sostanza secca prodotta dai FRUTTI) (kg/t)	ASPOR TAZIONI SU FRESCO (kg di N asportato DAI FRUTTI su tonnellata di sostanza secca prodotta da tutta la pianta) (kg/t)	ASSORBIMENTO N coltura (kg di N asportato DAI FRUTTI su tonnellata di sostanza secca prodotta da tutta la pianta) (kg/t)	ASPORTAZIONI (kg di N asportato su tonnellata di sostanza secca)
C 15	NP	126 ab	84 a	2,29 a	17,89 a	20,42 a	1,50 a	11,84 abc	49,20 a
C 15	P	118 ab	85 a	2,25 a	19,30 a	21,83 a	1,60 a	13,97 ab	52,60 a
C15+N/2	NP	116 ab	81 a	2,29 a	20,38 a	24,01 a	1,58 a	14,15 a	54,74 a
C15+N/2	P	154 a	96 a	2,28 a	19,51 a	22,17 a	1,36 ab	12,28 abc	53,34 a

CNT	NP	40 c	26 a	1,52 ab	12,69 b	13,79 b	0,98 bc	8,26 c	34,35 b
CNT	P	47 c	32 bc	1,31 b	12,62 b	13,89 b	0,90 c	8,75 bc	33,59 b
MIN	NP	101 b	71 ab	2,03 ab	17,25 a	19,60 b	1,43 a	12,19 abc	45,61 a
MIN	P	120 ab	84 a	2,07 ab	17,88 a	20,41 b	1,45 a	12,54 abc	47,59 a

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

**Tabella x b – Assorbimenti ed asportazioni – Pomodoro I anno**

TESI	assorbimento N tutta pianta (foglie+fusto+frutti) (kg/ha)	assorbimento N frutto (TOTALE) MEDIA TRALE DUE DATE (kg/ha)	Asportazione N coltura (N TOT) assorbito dalle piante ad ettaro/produzione totale ad ettaro) (kg/t)	ASSORBIMENTO N	ASPORTAZIONI SU SECCO (kg di N asportato DAI FRUTTI su tonnellata di sostanza secca prodotta da tutta la pianta) (kg/t)	ASPORTAZIONI SU FRESCO (kg di N asportato DAI FRUTTI su tonnellata di sostanza secca prodotta da tutta la pianta) (kg/t)	ASSORBIMENTO N coltura (kg di N asportato DAI FRUTTI su tonnellata di sostanza secca prodotta da tutta la pianta) (kg/t)
				coltura (kg di N asportato DA TUTTA LA PIANTA su tonnellata di sostanza secca prodotta da tutta la pianta) (kg/t)	ASPORTAZIONI SU SECCO (kg di N asportato DAI FRUTTI su tonnellata di sostanza secca prodotta da tutta la pianta) (kg/t)	ASPORTAZIONI SU FRESCO (kg di N asportato DAI FRUTTI su tonnellata di sostanza secca prodotta da tutta la pianta) (kg/t)	ASSORBIMENTO N coltura (kg di N asportato DAI FRUTTI su tonnellata di sostanza secca prodotta da tutta la pianta) (kg/t)
C 15	122 a	84 a	2,27 a	18,70 ab	21,13 ab	1,55 a	12,90 a
C15+N/2	135 a	88 a	2,28 a	19,84 a	23,09 a	1,47 a	13,21 a
CNT	43 b	29 b	1,41 b	12,65 c	13,84 c	0,94 b	8,51 b
MIN	110 a	77 a	2,05 a	17,56 b	20,00 b	1,44 a	12,36 a
NP	96 a	65	2,03	17,05	19,45	1,37	11,61
P	110 b	74	1,98	17,33	19,57	1,33	11,88

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

Mediamente non vi sono state differenze significative negli assorbimenti e nelle asportazioni tra le tesi ammendate e quella fertilizzata con concimazione minerale ed anche tra le tesi non pacciamate e quelle pacciamate. Tuttavia si sono evidenziati degli aspetti. In alcuni casi gli indici di assorbimento/asportazioni delle tesi C15 e C 15 + N/2 sono risultati superiori a quelli riscontrati in MIN; la quantità di azoto assorbito dalle piante, rapportata alla produzione totale della coltura, è stata maggiore nella tesi C 15 + N/2 rispetto al minerale ( 19,84 vs 17,56 kg t<sup>-1</sup>) così come l'azoto asportato dai frutti, rapportato alla quantità di sostanza secca prodotta (23,09 vs 20,00 kg t<sup>-1</sup>). Le tesi pacciamate hanno assorbito un quantitativo maggiore di azoto ad ettaro, in virtù della loro produzione di biomassa maggiore rispetto al non pacciamato.

le piante di queste ultime, tuttavia, hanno assorbito mediamente più azoto ad ettaro in virtù della loro maggiore produzione di biomassa.

## b) cipolla

### Rilievi produttivi

**Tabella x – Dati produttivi e sostanza secca – Cipolla I anno**

Fertilizzazione	Produzione commerciabile (t ha <sup>-1</sup> )	Scarto su produzione totale (%)	peso medio bulbo (g)	s.s. totale (t ha <sup>-1</sup> )	s.s. BULBO (%)
C 15	34,82 a	9,64 a	163,75 a	6,56 a	12,14 b
C 15 +N/2	38,65 a	4,74 a	179,70 a	6,86 a	10,21 c
CNT	10,39 b	22,85 b	68,24 b	2,92 b	14,67 a
MIN	38,77 a	6,99 a	178,18 a	6,21 a	9,94 c

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

### Rilievi biometrici

**Tabella x – Lunghezza della pianta e dimensioni del bulbo – Cipolla I anno**

Fertilizzazione	LUNGHEZZA PIANTA (cm)	DIAMETRO BULBO (cm)	ALTEZZA MASSIMA BULBO (cm)
C 15	55,70 a	6,79 b	4,08 a
C 15 +N/2	58,97 a	7,65 a	4,10 a
CNT	40,42 b	5,16 c	3,70 b
MIN	57,21 a	7,18 ab	4,14 a

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

### Rilievi qualitativi

**Tabella x – Contenuto zuccherino nei bulbi – Cipolla I anno**

Fertilizzazione	GRADI BRIX
C 15	14,10 b
C 15 +N/2	12,28 c
CNT	15,27 a
MIN	11,55 c

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

### Assorbimenti ed asportazioni

**Tabella x – Assorbimenti ed asportazioni – Cipolla I anno**

TESI	assorbimen to N tutta pianta (foglie+R ADICI+B ULBI) (kg ha <sup>-1</sup> )	ASPORTA ZIONI (kg di N asportato DAI BULBI su tonnellata di sostanza secca prodotta di BULBI) (kg t <sup>-1</sup> )	ASSORBI	Asportaz N	ASSORBI	ASPOR
			MENTO N coltura (kg di N asportato DA TUTTA LA PIANTA su tonnellata di sostanza secca prodotta dA tutta la pianta) (kg t <sup>-1</sup> )	coltura (kg di N asportato DA TUTTA LA PIANTA su tonnellata di PRODUZI ONE TOTALE FRESCA) (kg t <sup>-1</sup> )	MENTO N coltura (kg di N asportato DAI bulbi su tonnellata di sostanza secca prodotta dA tutta la pianta) (kg t <sup>-1</sup> )	TAZION I SU FRESCO (kg di N asportato DAI bulbi su tonnellat a di PRODU ZIONE TOTAL E FRESCA (kg t <sup>-1</sup> )
C 15	76,47 b	8,30 b	11,66 b	2,00 c	5,89 b	1,00 b
C15+N/2	128,47 a	13,47 a	18,77 a	3,18 a	8,12 a	1,37 a
CNT	28,15 c	5,50 c	9,66 b	2,11 bc	3,69 c	0,81 b
MIN	119,47 a	14,46 a	19,08 a	2,88 ab	9,66 a	1,43 a

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

## Secondo anno

### a) pomodoro

## Rilievi produttivi

Tabella x a– Dati produttivi e sostanza secca – Pomodoro II anno

Fert.	Pacc.	Produzione commercaibi le (t ha <sup>-1</sup> )	Produzione totale (t ha <sup>-1</sup> )	Scarto su produzione totale (%)	Marcia me apicale su produz ione totale (%)	Peso medio frutto (g)	s.s. tutta pianta (t ha <sup>-1</sup> )	s.s. frutto (%)
C 15	NP	33,43 abc	51,80 abc	35,84 c	7,17	63,13	6,88 a	6,56
C 15	PB	35,41 ab	60,22 ab	40,11 abc	8,31	59,45	8,61 a	6,74
C 15	PE	23,35	62,36 ab	61,73 a	10,56	56,55	7,58 a	7,02
C 15 + N/2	NP	37,50 ab	59,57 ab	37,13 bc	6,98	60,32	8,34 a	6,72
C 15 + N/2	PB	45,94 a	71,21 a	35,57 c	7,03	59,15	3,62 b	6,59
C 15 + N/2	PE	41,32 ab	73,78 a	45,01 abc	8,22	58,22	6,67 a	6,78
CNT	NP	13,65 d	21,41 d	36,57 c	9,28	62,32	6,95 a	6,87
CNT	PB	16,15 d	30,91 cd	49,37 abc	12,57	54,78	8,65 a	7,24
CNT	PE	18,73 cd	45,92 abc	61,09 ab	12,78	58,86	6,88 a	7,10
MIN	NP	23,35 bcd	38,50 bc	39,38 abc	7,99	60,10	8,61 a	7,16

MIN	PB	27,65 abcd	60,47 ab	55,44 abc	10,98	55,66	7,58 a	7,32
MIN	PE	28,97 abcd	70,62 a	58,26 abc	10,83	53,92	8,34 a	7,05

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

Tabella x b – Dati produttivi e sostanza secca – Pomodoro II anno

TESI							
	Produzione commerciale (t ha <sup>-1</sup> )	Produzione totale (t ha <sup>-1</sup> )	Scarto su produzione totale (%)	Marciume apicale su produzione totale (%)	Peso medio frutto (g)	s.s. tutta pianta	s.s. frutto (%)
C 15	30,73 b	58,12 ab	45,55 ab	8,68 b	59,71	7,74 a	6,77 ab
C 15 + N/2	41,59 a	68,19 a	38,71 b	7,31 b	59,23	7,96 a	6,70 b
CNT	16,18 c	32,75 c	48,55 a	11,23 a	58,65	5,14 b	7,07 ab
MIN	26,66 b	56,53 b	51,38 ab	9,96 ab	56,56	7,80 a	7,18 a
NP	26,98	42,82 b	36,99	7,51	61,47 a	6,26 b	6,83
PB	31,29	55,70 a	43,83	9,12	57,26 ab	8,07 a	6,97
PE	28,09	63,17 a	55,53	10,27	56,89 b	7,74 ab	6,99

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

## Rilievi qualitativi

Tabella x a – pH, acidità e vitamina C dei frutti – Pomodoro II anno

Fertilizzazione	Pacciamatura	pH	Acidità (g 100 g <sup>-1</sup> )	Vitamina C (mg 100 g <sup>-1</sup> )
C 15	NP	4,30 ab	0,44	0,019
C 15	PB	4,29 ab	0,43	0,018
C 15	PE	4,34 ab	0,49	0,017
C15+N/2	NP	4,35 ab	0,44	0,023
C15+N/2	PB	4,41 a	0,42	0,023
C15+N/2	PE	4,33 ab	0,47	0,019
CNT	NP	4,20 b	0,44	0,023
CNT	PB	4,22 ab	0,41	0,026
CNT	PE	4,23 ab	0,46	0,021
MIN	NP	4,24 ab	0,46	0,024
MIN	PB	4,24 ab	0,49	0,024
MIN	PE	4,38 ab	0,42	0,018

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

Tabella x b – pH, acidità e vitamina C dei frutti – Pomodoro II anno

Tesi	pH	Acidità (g 100 g <sup>-1</sup> )	Vitamina C (mg 100 g <sup>-1</sup> )
C 15	4,31 a	0,45	0,018
C15+N/2	4,36 a	0,44	0,022
CNT	4,22 b	0,44	0,023
MIN	4,29 ab	0,46	0,022
NP	4,27	0,45	0,022
P Bio	4,29	0,44	0,023
P Etil	4,32	0,46	0,019

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

## Rilievi fitopatologici

Nel corso della coltivazione si sono avuti problemi di virosi attribuibili a CMV (virus del mosaico del cetriolo), in particolare dalla seconda raccolta in poi; in seguito all'estirpazione delle piante in occasione dell'ultima raccolta sono emersi problemi di nematodi e di *Pyrenochaeta lycopersici*. Dai rilievi effettuati non sono emerse differenze significative tra le tesi a confronto per ognuna delle problematiche sopra citate.

## Assorbimenti ed asportazioni

Tabella x a – Assorbimenti ed asportazioni – Pomodoro II anno

Fert.	Pacc.	assorbimen to N tutta pianta (foglie+fus to+frutti) (kg/ha)	assorbimen to N FRUTTO)( kg ha-1)	Asportaz N coltura (N TOT assorbito dalle piante ad ettaro/prod uzione totale ad ettaro) (kg t <sup>-1</sup> )	ASSORBI MENTO N coltura (kg di N asportato DA TUTTA LA PIANTA su tonnellata di sostanza secca prodotta dA tutta la pianta)	ASPORTA ZIONI SU SECCO (kg di N asportato DAI FRUTTI su tonnellata di sostanza secca prodotta di FRUTTI)(k g t-1)	ASPORTA ZIONI SU FRESCO (kg di N asportato DAI FRUTTI su tonnellata di PRODUZI ONE TOTALE	ASSORBI MENTO N coltura (kg di N asportato DAI FRUTTI su tonnellata di sostanza secca prodotta dA tutta la pianta)	ASPORTA ZIONI (kg di N asportato su tonnellata di sostanza secca)
					C 15	NP	149,54 abc	81,09 bcd	2,89
C 15	P	208,74 a	127,66 a	3,36	24,30 a	28,68 a	2,01 a	14,8 ab	65,91 a
C15+N/2	NP	173,01 abc	105,61 abc	2,90	22,71 ab	26,45 ab	1,77 a	14 ab	63,58 a
C15+N/2	P	198,39 ab	136,91 a	2,79	23,89 a	27,63 ab	1,88 a	16,7 a	64,13 a
CNT	NP	56,67 d	25,60 e	2,63	15,64 d	17,44 c	1,20 c	7,14 c	44,50 c
CNT	P	112,09 cd	58,97 de	2,47	16,84 cd	18,14 c	1,29 bc	8,82 bc	47,24 bc
MIN	NP	136,82 bc	62,95 cde	3,67	19,81 bc	22,48 bc	1,60 ab	9,18 bc	57,04 ab
MIN	P	180,42 ab	116,95 ab	2,58	20,91 ab	23,67 ab	1,65 ab	13,5 ab	57,59 ab

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

Tabella x a – Assorbimenti ed asportazioni – Pomodoro II anno

TESI	assorbimen to N tutta pianta (foglie+fus to+frutti) (kg/ha)	assorbimento N FRUTTO)(kg ha-1)	Asportaz N coltura (N TOT assorbito dalle piante ad ettaro/produz ione totale ad ettaro) (kg t <sup>-1</sup> )	ASSORBIMEN TO N coltura (kg di N asportato DA TUTTA LA PIANTA su tonnellata di sostanza secca prodotta da tutta la pianta)	ASPORTAZIO NI SU SECCO (kg di N asportato DAI FRUTTI su tonnellata di sostanza secca prodotta di FRUTTI)(kg t- 1)	ASPORTA ZIONI SU FRESCO (kg di N asportato DAI FRUTTI su tonnellata di PRODUZI ONE TOTALE	ASPORTA ZIONI (kg di N asportato su tonnellata di sostanza secca
C 15	179,14 a	104,37 ab	30,99	22,99 a	26,16 ab	1,78 a	63,87 a
C 15 + N/2	185,70 a	121,26 a	28,11	23,30 a	27,04 a	1,82 a	63,85 a
CNT	84,38 b	42,28 c	25,40	16,24 c	17,79 c	1,24 b	45,87 b
MIN	158,62 a	89,95 b	30,74	20,36 b	23,07 b	1,63 a	57,32 a
NP	129,01 b	68,81	29,87	19,96 b	22,41 b	1,53 b	22,58 b
P	174,91 a	110,12	27,69	21,49 a	24,34 a	1,70 a	24,56 a

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

## b) Cipolla

### Rilievi produttivi

Tabella x – Dati produttivi e sostanza secca – Cipolla II anno

Fertilizzazione	Produzione commerciabile (t ha <sup>-1</sup> )	Scarto su produzione totale (%)	peso medio bulbo (g)	s.s. totale (t ha <sup>-1</sup> )	s.s. BULBO (%)
C 15	8,00 a	32 a	225 a	2,30 b	11,42 b
C 15 +N/2	10,34 a	40 a	195 a	2,38 b	10,72 b
CNT	1,75 b	75 b	85 c	0,95 c	7,16 b

MIN	8,13 a	46 a	153 b	3,70 a	18,56 a
-----	--------	------	-------	--------	---------

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

Tabella x – Lunghezza della pianta e dimensioni del bulbo – Cipolla II anno

Fertilizzazione	LUNGHEZZA PIANTA (cm)	DIAMETRO BULBO (cm)	ALTEZZA MASSIMA BULBO (cm)
C 15	51,23 a	8,30 a	4,21 a
C 15 +N/2	50,63 a	8,32 a	4,42 a
CNT	41,33 c	6,39 b	3,55 ab
MIN	47,45 b	7,99 a	4,05 a

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

#### Rilievi qualitativi

Tabella x – Contenuto zuccherino nei bulbi – Cipolla II anno

Fertilizzazione	GRADI BRIX
C 15	11,7
C 15 +N/2	11,3
CNT	11,9
MIN	11,2

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

#### Assorbimenti ed asportazioni

Tabella x – Assorbimenti ed asportazioni – Cipolla II anno

TESI	assorbimen to N tutta pianta (foglie+R ADICI+B ULBI)(kg ha-1)	ASPORTA ZIONI (kg di N asportato DAI BULBI su tonnellata di sostanza secca prodotta di BULBI)	ASPORTAZI ONI (kg di N asportato DA TUTTA LA PIANTA su tonnellata di sostanza secca di TUTTA LA PIANTA)	Asportaz N coltura (kg di N asportato DA TUTTA LA PIANTA su tonnellata di PRODUZIO NE TOTALE FRESCA)(kg t-1)	ASSORBIM ENTO N coltura (kg di N asportato DAI bulbi su tonnellata di sostanza secca prodotta dA tutta la pianta)(kg t- 1)	ASPOR TAZION I SU FRESCO (kg di N asportato DAI bulbi su tonnellat a di PRODU ZIONE TOTAL E FRESCA
C 15	31,31 b	10,47 b	14,94 b	3,64 bc	5,05 b	1,23 b
C15+N/2	41,73 b	14,22 a	18,59 a	3,87 b	7,39 a	1,58 b
CNT	10,56 c	6,99 c	12,33 c	2,46 c	2,54 c	0,52 c
MIN	65,51 a	14,64 a	18,94 a	5,74 a	8,91 a	2,81 a

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

## Pomodoro

Riassunto dei dati produttivi (mettere i due grafici delle colture invernali e di quelle primaverili)

Fig. x – Produzioni commerciabili delle colture a ciclo primaverile-estivo

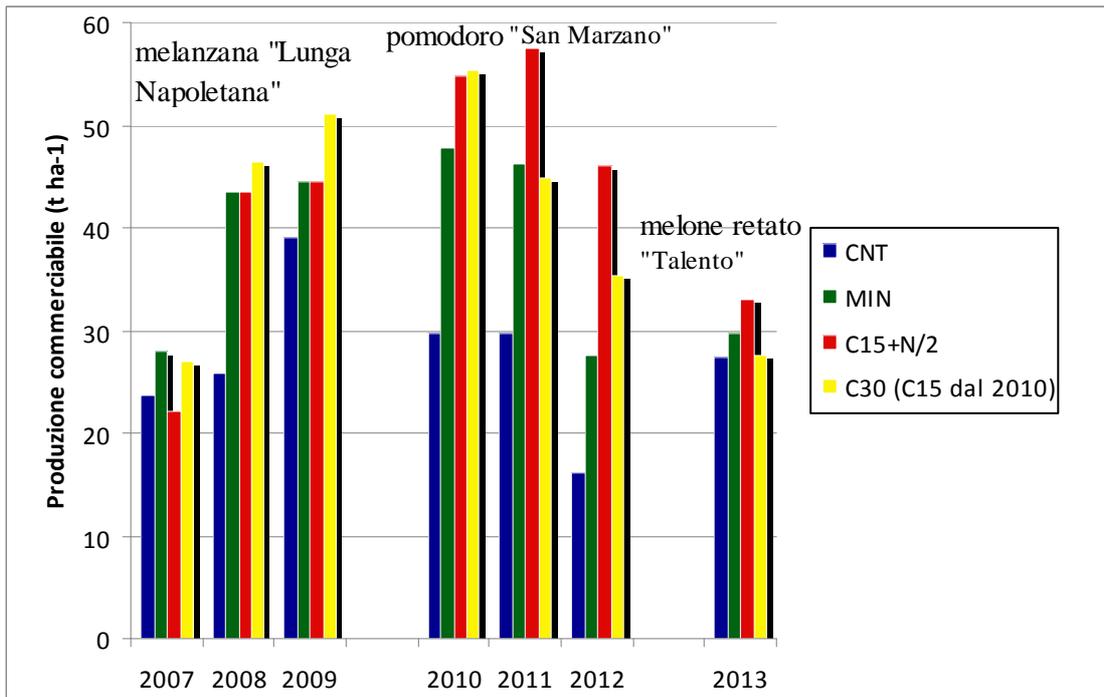
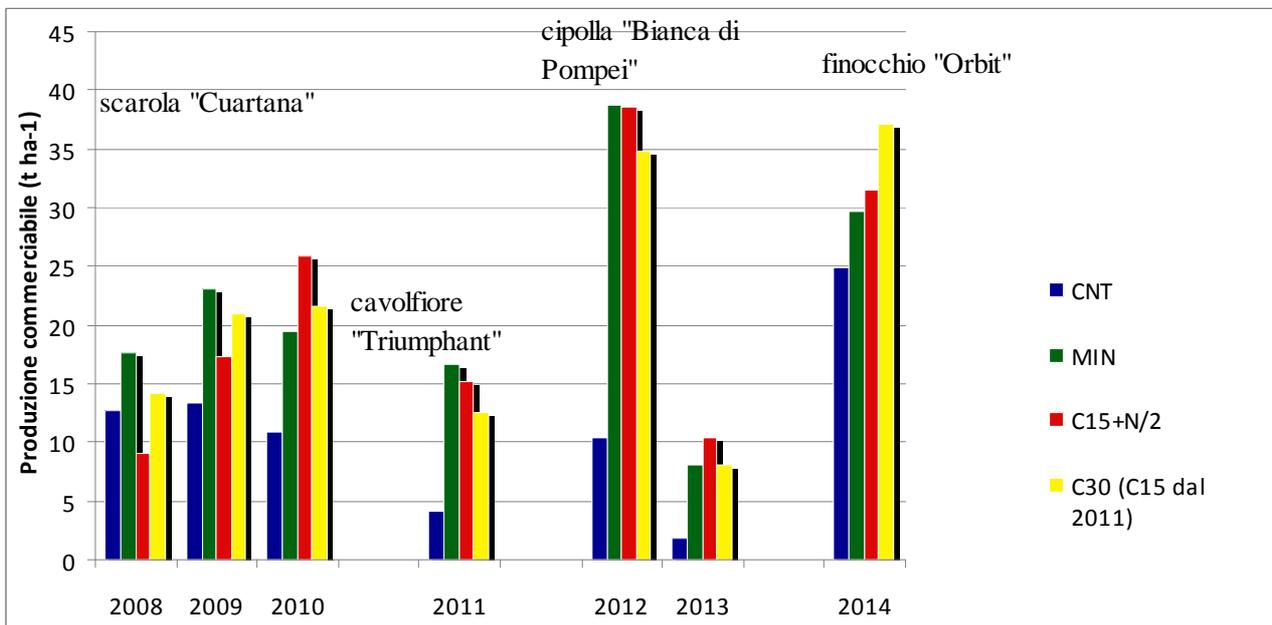


Fig. x – Produzioni commerciabili delle colture a ciclo primaverile-estivo



Dati di fine ciclo

Bilancio carbonio

Fig. x – Contenuto di sostanza organica del suolo

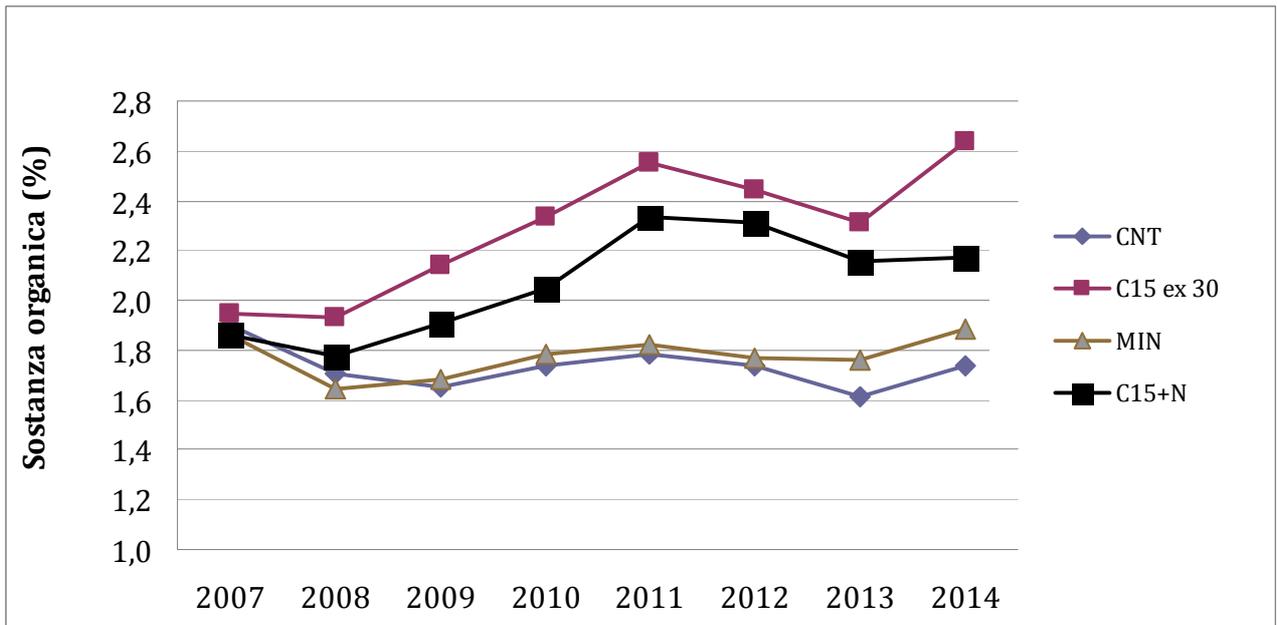


Fig. x – Contenuto di carbonio organico del suolo

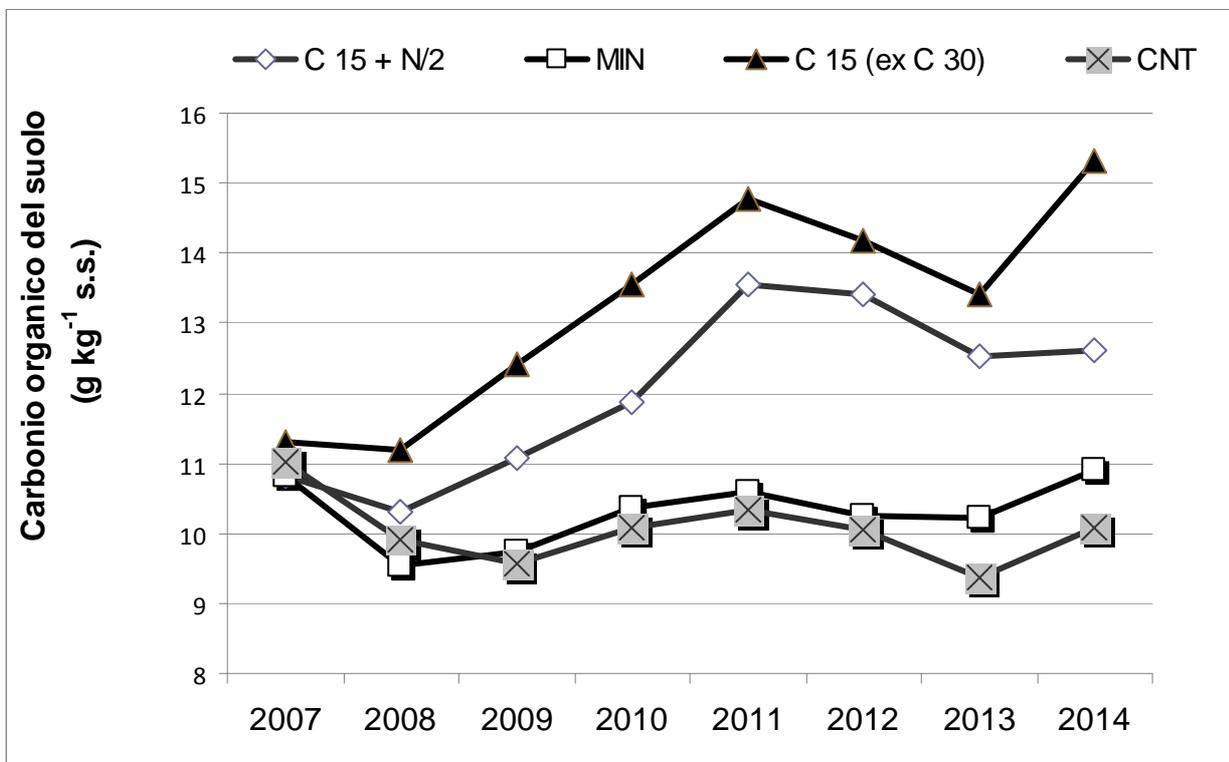
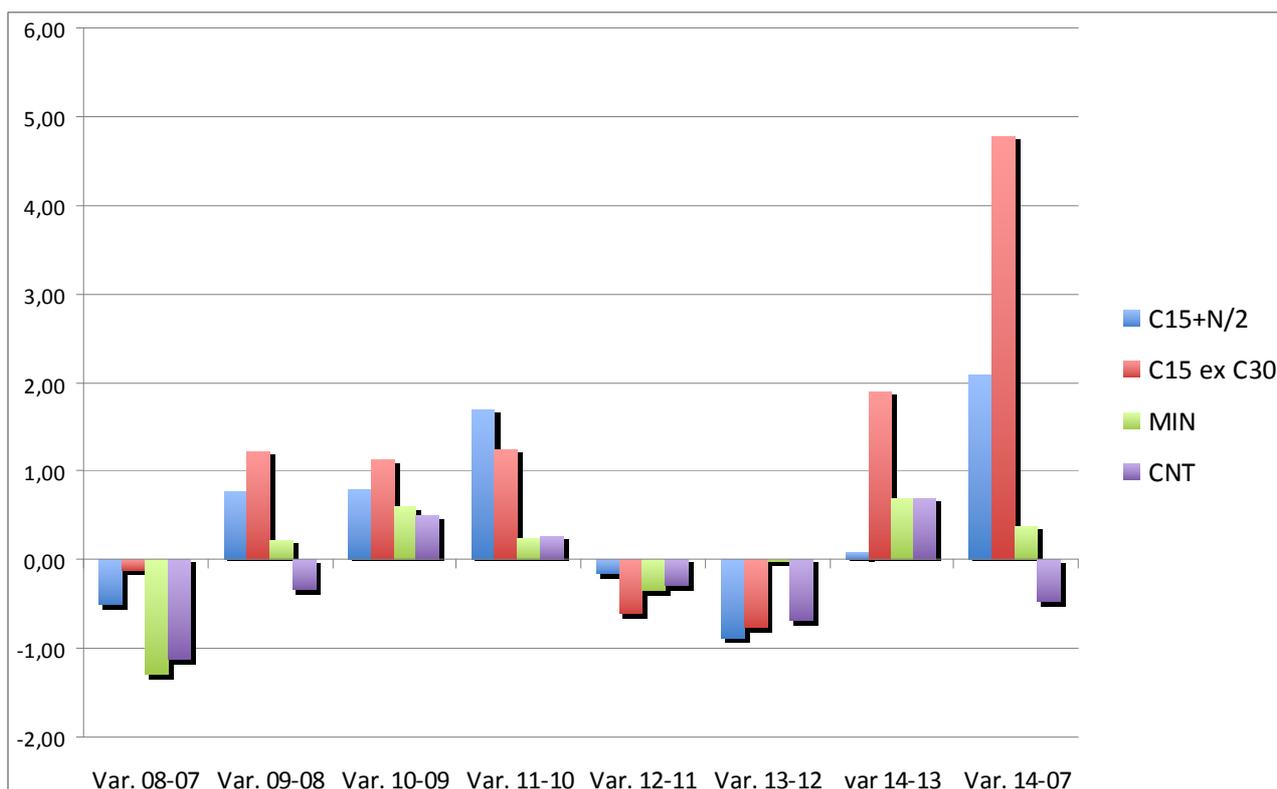


Fig. x – Variazioni del contenuto di carbonio organico del suolo nel corso degli anni



Treatments of Fertilization	Input C from compost + C residues (t ha <sup>-1</sup> )	Change in SOC* (t ha <sup>-1</sup> )	SOC Losses** (t ha <sup>-1</sup> )	Conversion Efficiency*** (%)
C15 ex 30				
C15 + Nmin				
MIN				
CNT				

\* SOC nel 2014 - SOC nel 2007; \*\* SOC nel 2014 - (SOC 2007+ C input);  
 \*\*\* Rapporto tra variazione SOC nel quadriennio e Input totale C.  
 Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P=0,05.

Azoto totale nel terreno

Fig. x – Contenuto di azoto totale del suolo

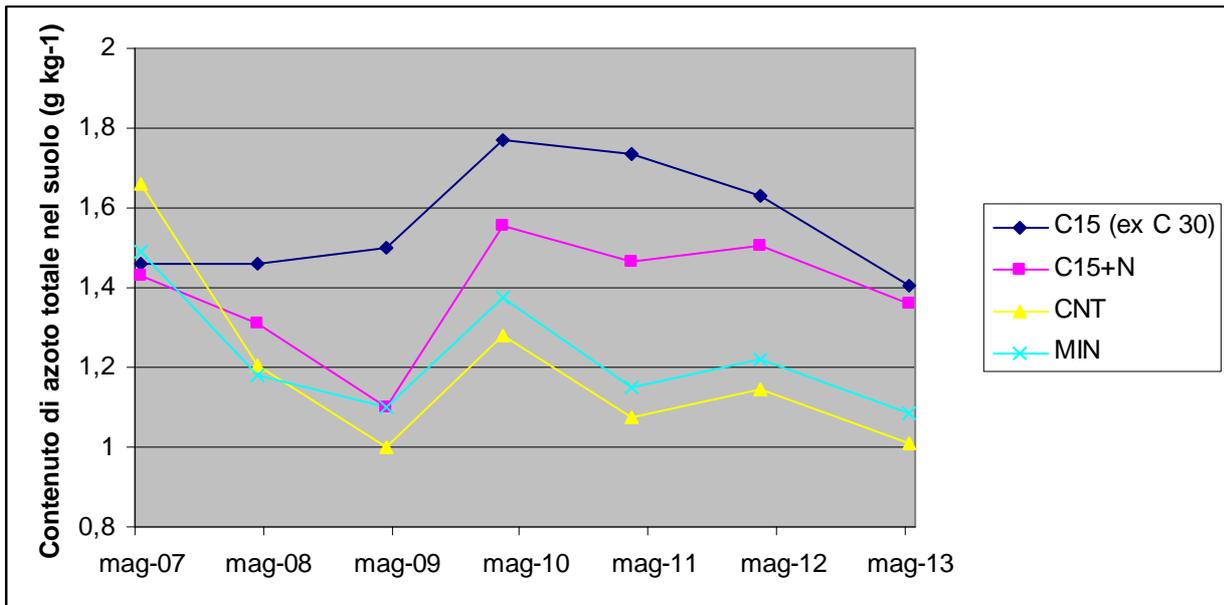
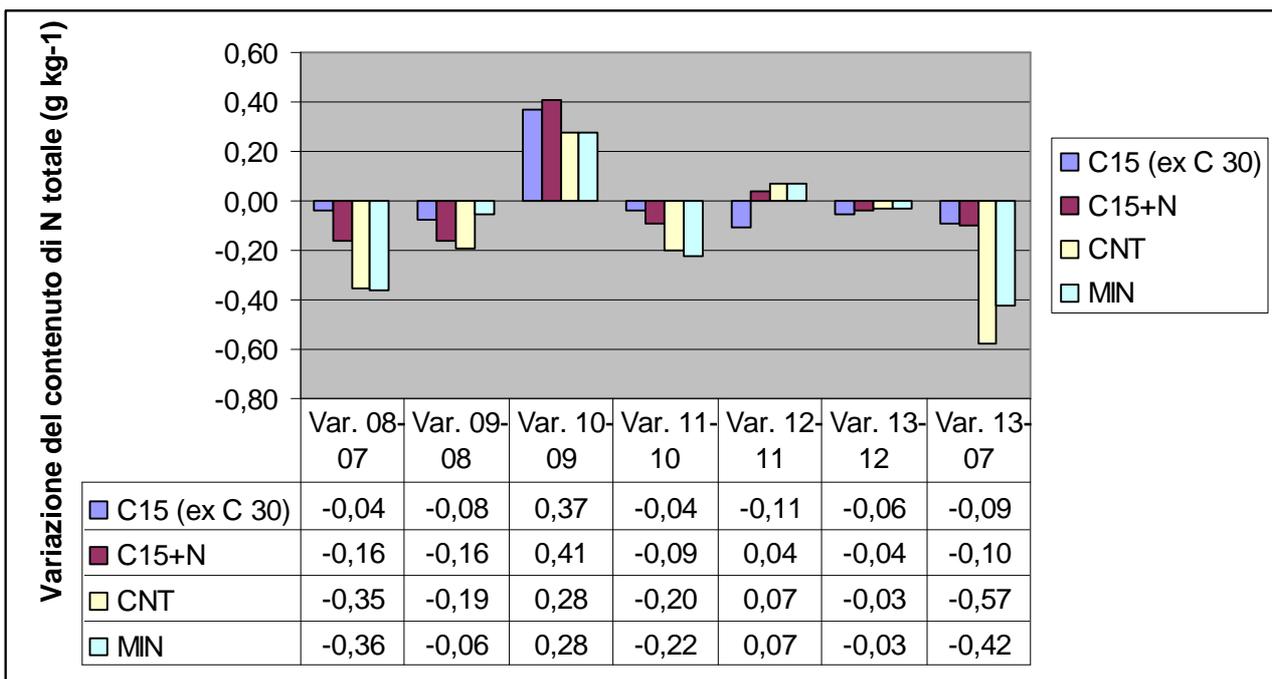


Fig. x – Variazioni del contenuto di azoto totale del suolo nel corso degli anni



### Bilancio azoto ed indici efficienza d'uso dell'azoto

Formula bilancio secondo Grignani del biennio

Indici efficienza azoto generali

a) primo anno

Naue su secco, Naue su fresco singolarmente per pomodoro e cipolla, arf e surplus per l'intera successione

Fertilizzazione	Pacciamatura	pomodoro	pomodoro	cipolla	cipolla	ARF (%)	N surplus (kg ha <sup>-1</sup> )
		NaUE su sostanza secca (kg kg-1)	NaUE (su commerciabile)(kg kg-1)	NaUE(kg kg-1)	NaUE (su commerciabile)(kg kg-1)		
C 15	NP	49,20	437,86				
C 15	P	51,37	439,04	86,04	504,73	37	413
C15+N/2	NP	52,20	452,24				
C15+N/2	P	56,35	467,57	53,34	315,41	45	523
CNT	NP	56,60	494,10				
CNT	P	58,27	505,64	104,03	478,37		82
MIN	NP	78,93	671,09				
MIN	P	79,40	767,02	52,52	357,58	61	321

b) secondo anno

Naue su secco, Naue su fresco singolarmente per pomodoro e cipolla, arf e surplus

Fertilizzazione	Pacciamatura	pomodoro	pomodoro	cipolla	cipolla	ARF (%)	N surplus (kg ha <sup>-1</sup> )
		NaUE su sostanza secca (kg kg-1)	NaUE (su commerciabile)(kg kg-1)	NaUE(kg kg-1)	NaUE (su commerciabile)(kg kg-1)		
C 15	NP	46,13	356,85				
C 15	P	41,21	304,86	67,10	287,26	36	680
C15+N/2	NP	44,14	353,05				
C15+N/2	P	42,08	386,17	53,84	263,60	20	707
CNT	NP	64,27	381,98				
CNT	P	59,73	411,77	81,19	419,22		143
MIN	NP	50,60	286,68				
MIN	P	47,96	390,63	52,83	174,99	47	274

Indici di tutto il periodo

	N INPUT - N OUTPUT (kg ha <sup>-1</sup> )	DIFFERENZA N TOT 2013 - 2007) (kg ha <sup>-1</sup> )	PERDITE DI AZOTO (kg ha <sup>-1</sup> )	N PERSO ALL'ANNO (kg ha <sup>-1</sup> )
<b>C 15</b>	1337	-320,39	1658	276
<b>C15+N/2</b>	387	-208,23	595	99

<b>CNT</b>	-910	-1821,68	912	152
<b>MIN</b>	75	-1593,45	1669	278

## Andamento dei nitrati

lo ione nitrato è caratterizzato da una tossicità molto bassa (Speijers, 1996), ma il prodotto della sua riduzione, il nitrito, ed i composti N-nitrosi, che si originano dalla reazione tra nitrito ed altre sostanze, possono dar luogo a gravi patologie per l'uomo (Conversa, 2002). Il contenuto di nitrato negli ortaggi è influenzato da fattori genetici, ambientali e dalle tecniche agronomiche, benché, indipendentemente da tutto, le foglie siano l'organo in cui questo fenomeno è preponderante (Gonnella et al., 2002).(tesi di Mola)

Fig. x – Andamento dei nitrati nello strato 0-30 cm nel corso della prova

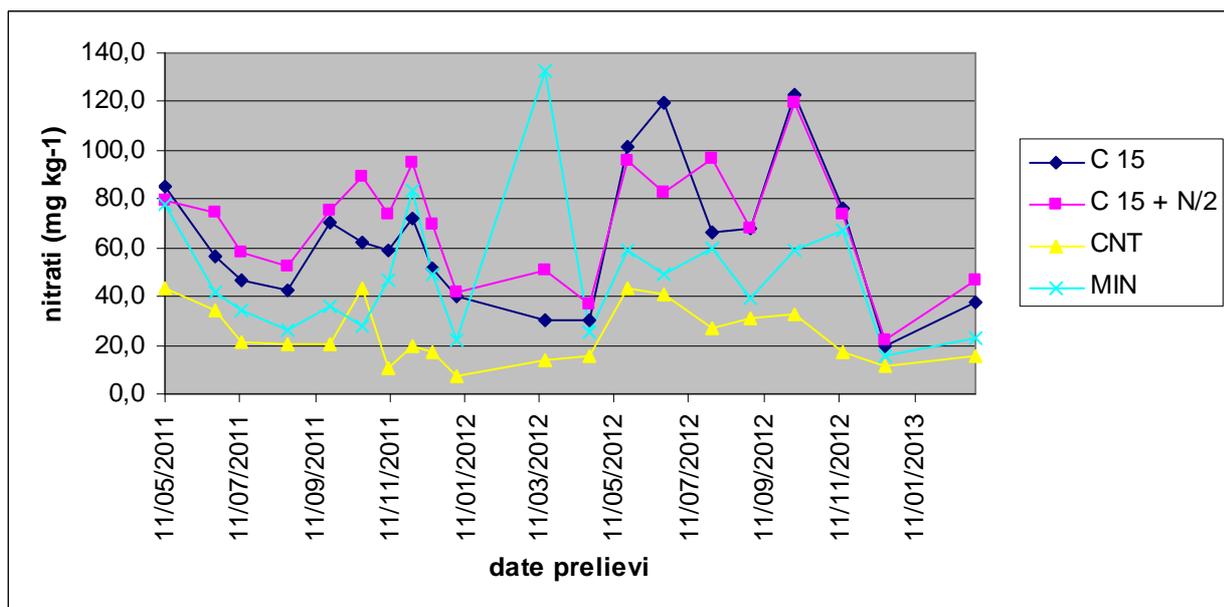


Fig. x – Andamento dei nitrati nello strato 30-60 cm nel corso della prova

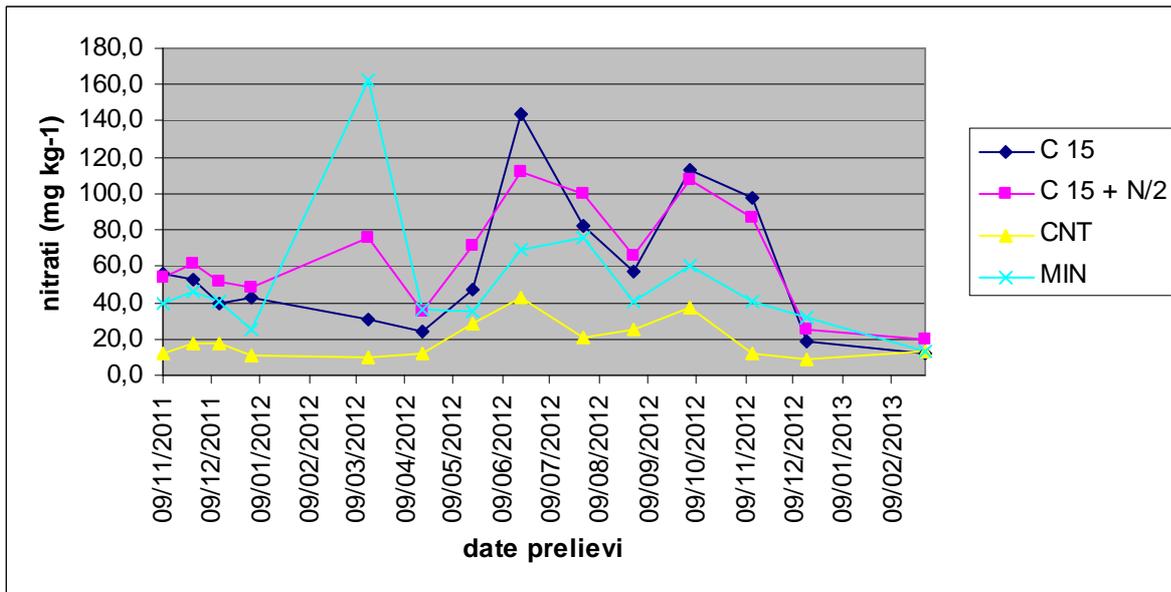
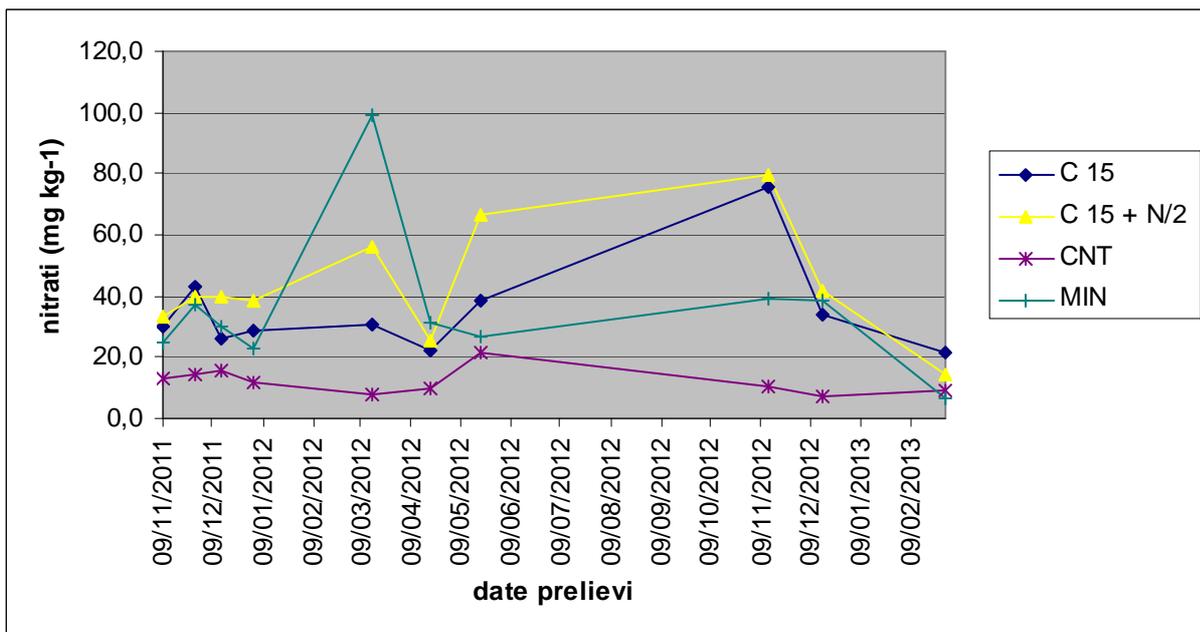


Fig. x – Andamento dei nitrati nello strato 60-90 cm nel corso della prova



### Ritenzione idrica (vedi analisi statistiche già fatte)

Tab. x – Ritenzione idrica del terreno nello strato 0-30 cm – Campionamento di inizio prova (Aprile 2011)

	0,3 ATM UMIDITA' (%)	0,5 ATM UMIDITA' (%)	1 ATM UMIDITA' (%)	1,5 ATM UMIDITA' (%)	3 ATM UMIDITA' (%)	6 ATM UMIDITA' (%)	8 ATM UMIDITA' (%)	12 ATM UMIDITA' (%)
C 15	19,02 a	17,15 a	16,56 a	14,78 a	13,70 a	12,15 a	10,57 a	10,08 a
C 15+ N/2	18,45 ab	16,70 ab	16,12 ab	14,50 a	13,34 ab	11,82 a	10,46 a	9,65 ab

CNT	17,84 b	15,77 c	15,21 c	13,58 b	12,60 b	11,27 b	9,95 b	9,38 b
MIN	18,35 ab	16,35 bc	15,86 ab	14,29 a	13,77 a	11,97 a	10,16 ab	9,51 b

Lettere differenti indicano medie significativamente diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

Tab. x – Ritenzione idrica del terreno nello strato 0-30 cm

– Campionamento di fine prova (Aprile 2013)

	3 ATM UMIDITA' (%)	6 ATM UMIDITA' (%)	12 ATM UMIDITA' (%)
C 15	14,78 a	12,15 a	9,71 ab
C 15+ N/2	14,18 b	11,78 b	9,31 ab
CNT	14,14 b	11,39 b	8,80 b
MIN	14,02 b	11,45 b	8,85 b

Lettere differenti indicano medie significativamente

diverse al test di Tukey HSD per P= 0,05

## Cenni microbiologici

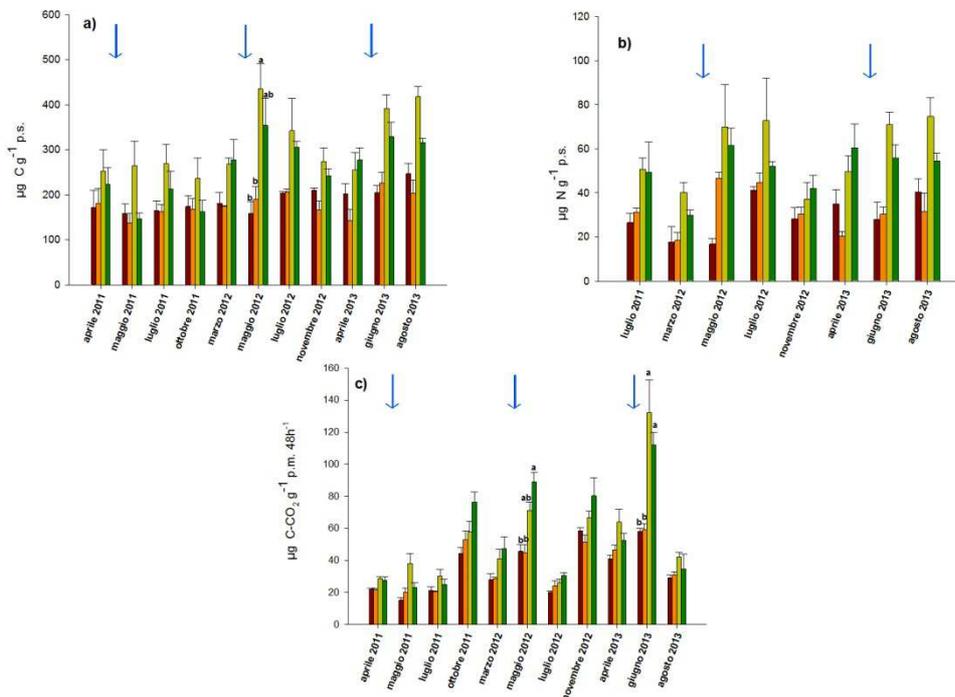


Fig.11 Biomassa microbica del suolo espressa come carbonio (a) ed azoto (b), e respirazione microbica (c). All'interno dello stesso periodo di campionamento, lettere differenti indicano differenze significative tra i trattamenti (p<0.00625). Le barre di errore indicano l'errore standard della media. Le frecce indicano i periodi in cui è stato aggiunto il compost.

## Conclusioni

L'esperimento, tuttora in corso, ha consentito di dimostrare che l'ammendamento ripetuto con compost da F.O.R.S.U. in orticoltura di pieno campo rappresenta un valido strumento per aumentare il contenuto di sostanza organica del terreno conseguendo nel contempo soddisfacenti livelli produttivi con le colture praticate. Riguardo alla dinamica della sostanza organica, tra le due dosi di compost confrontate quella migliore, da apportare annualmente al terreno, sembra essere di circa 15 t ha<sup>-1</sup> di s.s.; nelle condizioni pedo-ambientali del sito di prova, mantenendo stabile la gestione dell'agrosistema in termini di numero e tipo di lavorazioni del terreno, ricorso alla pacciamatura, etc., la dose indicata è stata sempre superiore al tasso di mineralizzazione annuo della sostanza organica (eccetto il primo anno di prova) e dunque adeguata per un bilancio positivo. D'altra parte per ottenere produzioni soddisfacenti nel breve periodo è apparso opportuno effettuare i primi ammendamenti con la dose più elevata (30 t ha<sup>-1</sup> di s.s.) per poi abbassarla a 15 dopo i primi anni di ammendamento. Alla luce del comportamento delle colture, è apparso evidente che superato un contenuto di 2,5 % di sostanza organica nel terreno e ricorrendo ad apporti ridotti di azoto minerale sono state create condizioni di fertilità analoghe a quelle fornite dalla sola concimazione minerale. Riguardo al contenuto di azoto nitrico nel terreno, i valori non eccessivi riscontrati negli strati di terreno considerati (0-30 e 30-60 cm) non sembrano rappresentare un pericolo in caso di lisciviazione in falda, tuttavia appare opportuno rilevare nei successivi anni di sperimentazione il contenuto di azoto nitrico anche negli strati più profondi del terreno.

### Tempi di risposta all'ammendamento

- L'avvio di un programma di ammendamento con compost determina le prime risposte positive nel sistema suolo-culture entro un paio di anni in quanto:
  - Ci sono fenomeni di immobilizzazione dell'azoto tanto più marcati quanto maggiore è il rapporto C/N del compost
  - La microflora del suolo deve adattarsi al cambiamento determinato da apporti costanti e significativi di s.o.
  - L'evidenza delle risposte è inversamente proporzionale al livello di sostanza organica del terreno

### Livelli critici di sostanza organica

- Appare diverso nei due terreni studiati. A Battipaglia oltre il 2% maggiore autonomia, a Scafati oltre il 2,5%.
  - Di contro la perdita di capacità produttiva si manifesta a livelli diversi: ca. 1,5% a Battipaglia, ca. 2% a Scafati
- L'apporto iniziale di quantità di compost molto elevate (>30 t/ha s.s.) non serve a modificare rapidamente il declino della fertilità.
  - Come visto l'efficienza di conversione del C organico peggiora all'aumentare della dose applicata

### Strategie di ammendamento

- a. Recupero rapido attraverso ammendamenti con elevate quantità (~30 t / ha) ripetuti per 2 o 3 anni. Successivamente mantenere i livelli di sostanza organica raggiunti con ammendamenti annuali di minore entità (~10-15 t / ha / anno)
- b. L'apporto di 15 t/ha di s.s. integrato da concime minerale azotato in dose ridotta si è rivelato sin dal primo anno un approccio efficace sia per il sostegno produttivo delle colture sia per il bilancio positivo tra C organico apportato e C mineralizzato

#### Il destino dell'azoto nel suolo

- Dopo 4-5 anni di ammendamenti in pieno campo il tasso di liberazione di N-nitrico nel suolo resta entro limiti ottimali per il soddisfacimento delle colture e non sembra andare fuori controllo. Non altrettanto accade sotto serra (contenere le dosi)
- I vincoli posti dalla Direttiva Nitrati all'apporto di N sono troppo restrittivi per il compost in quanto non distinguono tra N minerale e organico
  - Comunque la dose 15 t sembra conciliare l'esigenza di apportare una sufficiente quantità di C e di N

#### L'importanza della gestione complessiva dell'agrosistema

- Il bilancio della sostanza organica è legato anche ad altre scelte agronomiche:
  - Frequenza, tempi e modalità di lavorazione (effetti diversi in estate o autunno-inverno)
  - Controllo erbe spontanee (pacciamatura, diserbo, fresatura)
  - Rotazioni e i residui colturali

#### Un interrogativo per ora senza risposte

- A dispetto di tanti indicatori di un miglioramento della fertilità fisica, chimica e biologica del suolo a seguito dell'apporto di compost...sul terreno concimato con fertilizzanti di sintesi viene conservata la capacità produttiva per quanto osservato da noi finora (3-5 anni).
- Questa azione di mascheramento quanto può reggere?

#### I vantaggi dell'ammendamento con compost

- L'impiego ripetuto nel tempo si traduce in un aumento della fertilità del suolo e delle rese colturali
- Gli effetti sono misurabili non prima di 2-3 anni di applicazioni, dopodichè i risultati sono almeno comparabili con la fertilizzazione minerale
- Il bilancio della sostanza organica nel terreno è stabile o positivo per cui:
  - Migliora la capacità del suolo di trattenere acqua
  - Migliora il drenaggio e l'aerazione del suolo, di conseguenza diminuisce la sua compattezza a vantaggio della lavorabilità (risparmio di carburante e potenza meccanica dei trattori)
  -
- Migliora l'attività microbologica del suolo per cui:
  - Aumenta la biomassa microbica
  - Migliora la capacità di rendere disponibile per le piante l'N presente nella sostanza organica
  - Migliora la disponibilità del fosforo

- Può migliorare la capacità del suolo di sopprimere o contenere lo sviluppo di parassiti delle colture

## **Bibliografia**

- Abbott and Daniel V. Murphy. Soil Biological Fertility: A Key to Sustainable Land Use in Agriculture – chapter 2
- Adani F., Genevini P.L. and Tambone F. (1995). A new index for compost stability. *Compost Science & Utilization*, 3 (2), 25-37.
- Angers, D.A., Recous S. & Aita C. 1997. Fate of carbon and nitrogen in water-stable aggregates during decomposition of  $^{13}\text{C}^{15}\text{N}$ -labelled wheat straw in situ. *European Journal of Soil Science*, 48, 295–300.
- Bonanomi G., D'Ascoli R., Antignani V., Capodilupo M., Cozzolino L., Marzaioli R., Puopolo G., Rutigliano F.A., Scelza R., Scotti R., Rao M.A., Zoina A., 2011. *Assessing soil quality under intensive cultivation and tree orchards in Southern Italy*. *Applied Soil Ecology*, 47: 184-194.
- Cambardella, C.A. & Elliott, E.T. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 777–783.
- Centemero M., 2011. *State of the art, quantity, quality, labelling and market share*. [http://www.compost.it/files/2011\\_09\\_30\\_conv-ita-usa-commerce-compost/Relazione\\_Centemero.pdf](http://www.compost.it/files/2011_09_30_conv-ita-usa-commerce-compost/Relazione_Centemero.pdf)
- Centemero M., Favoino E. Atti del convegno “Utilizzo del compost da frazione organica dei rifiuti solidi urbani: attualità e prospettive” – Napoli, Città della Scienza, 30 novembre 2006: 11-25.
- Durán Zuazo and Rodríguez Pleguezuelo, 2008
- ECN (European Compost Network), 2010. *Sustainable compost application in agriculture – Completion April 2008*. ECN-INFO, 2. Pp. 36.
- Federal Ministry for Agriculture and Forestry, Environment and Water Management of Austria, 2007. Beneficial effects of compost application on fertility and productivity of soils. Literature Study. Le-

bensministerium.at. Pg. 225.

Fagnano, M., Fiorentino, N., Caputo, R., Donatiello, S., 2008: Effects of Different Techniques of Green Manure on N Balance of the Rotation Tomato-Melon. *Italian Journal of Agronomy*, 3, (supplement n. 3): 203-204.

Favoino and Hogg, 2008. *Waste Management & Research*, Vol. 26, No. 1, 61-69

Feldman, K., 1995 Stability index determinations, *Biocycle*, 36, (11), 68-69

Giunta Regionale della Campania – Dipartimento per le Politiche Territoriali, Direzione Generale per i Lavori Pubblici e la Protezione Civile, 2014. Dati meteo-pluviometrici – stazione di Pompei.

Greenwood, D. J., Lemaire, G., Gosse, G., Cruz, P., Draycott, A., 1989: Apparent recovery of fertilizer N by vegetable crops. *Soil Sci. Plant Nutr.* 35, (3): 367-381

Grossman, R. B. and Reinsch, T. G. 2002. Bulk density and linear extensibility. In: Dick, W. A. and Topp, G. C. (eds.) *Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods.* SSSA, Madison, WI. pp.201-228.

Hartz T.K. , 2006. *Vegetable production best management practices to minimize nutrient loss.* HortTechnology, 16 (3), 398-403.

Hartz T.K., Mitchell J.P., Giannini C. 2000. *Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and compsts.* *Hortscience* 35 (2), 209 – 212

Hassink, J. 1996. Decomposition and transfer of plant residue <sup>14</sup>C between size and density fractions in soil. *Plant and Soil*, 179,159-169.

Iannotti, D.A., Oang, T., Toth, B.L., Elwell, D.L., Keener, H.M. and Hoitink, H.A.J., (1993) A quantitative respirometric method for monitoring compost stability, *Compost Science and Utilization*, 1, (3), 52-65  
Lal R. 1997. Carbon Sequestration in Dryland Ecosystems. DOI: 10.1007/s00267-003-9110-9

Morra L., Bilotto M., Pagano L., Calì M., Iovieno P., Tonini A., 2007. *Studio degli effetti dell'ammendamento con compost in un agro sistema orticolo sotto serra attraverso l'analisi della produzione colturale, della fertilità chimica del terreno e della micorrizzazione*

*radicale*. Atti del convegno “Utilizzo del compost da f.o.r.s.u; attualità e prospettive”, Napoli, 30 novembre: 55-82.

Oades, J.M. 1984. Soil organic matter and structural stability, mechanisms and implications for management. *Plant Soil*, 76, 319-337.

Pizzolongo G., Bilotto M., Morra L. 2012. Atti del Convegno Nazionale “*Recupero delle biomasse agricole, agroindustriali e urbane attraverso il compostaggio. Effetti dell’impiego di compost in orticoltura*”. *Acta Italus Hortus*, 5: 56 – 60.

Postiglione L. 1957. *Studio ecologico del campo sperimentale dell’I.S.S.T. in Scafati*. Il Tabacco LXI n. 685, 1-32.

Raupp J., 2001. *Manure fertilization for soil organic matter maintenance and its effects upon crops and the environment, evaluate in a long-term trial*. In: Rees R.M., Ball b.C., Campbell C.D., Watson C.A., Eds., “Sustainable management of soil organic matter” , CABI Publishing: 301-308.

Regione Campania, Assessorato all’Agricoltura-SESIRCA, 2003. *Guida alla concimazione*. Pp. 32.

[www.sito.regione.campania.it/agricoltura/concimazione/guida.htm](http://www.sito.regione.campania.it/agricoltura/concimazione/guida.htm)

Regione Campania, Assessorato all’Agricoltura-SESIRCA, 2008. *La ricerca sull’inquinamento da nitrati nei suoli campani: un approccio modellistico nella gestione agro-ambientale*

Schmidt, M.W.I., Torn, M.S., Abiven, S., Dittmar T., Guggenberger, G., Janssens, I.A., Kleber, M., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., Manning, D.A.C., Nannipieri, P., Rassel, D.P., Weiner, S. & Trumbore, S. E. 2011. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* 478, 49-56.

Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K. & Doran, J.W. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 1367-1377.

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S. & Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage research*, 79, 7-31.

Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S.M., Sa, d.M.J.C. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils—effects of no-tillage. *Agronomie*, 22, 755–775.

Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko (2007): Agriculture. In Climate Change (2007): Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Available at [http://www.mnp.nl/ipcc/pages\\_media/FAR4docs/final\\_pdfs\\_ar4/Chapter08.pdf](http://www.mnp.nl/ipcc/pages_media/FAR4docs/final_pdfs_ar4/Chapter08.pdf)

Tisdall, J.M. & Oades, J.M. 1982. Organic Matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33, 141-163.

Zaccardelli M., Perrone D., Mazzella A., Del Galdo A., Giordano I., 2007. *Valutazione bio-agronomica di una successione triennale di colture industriali e ortive in un terreno della Piana del Sele ammendato con compost da F.O.R.S.U.* Atti del Convegno “Utilizzo del compost da frazione organica dei rifiuti solidi urbani; attualità e prospettive”, Napoli, 30 novembre. Pp. 95-118

Zicari G. 2009. *IL compostaggio (fermentazione aerobica di materiale organico)* – Linee Guida Regione Piemonte: 1-43.