

Prove sperimentali di compostaggio di biomasse a matrice cellulosa

MASSIMO CENTEMERO^{1,3}, VALENTINA CAIMI¹, CESARE UBBIALI²
ELIANA FAROTTO⁴

⁽¹⁾ Scuola Agraria del Parco di Monza

⁽²⁾ DiProVe – Università degli studi di Milano

⁽³⁾ Coordinatore del Comitato Tecnico del Consorzio Italiano Compostatori

⁽⁴⁾ Comieco - Milano

Sommario

La recente crescita del settore del compostaggio di qualità in Italia si è verificata soprattutto grazie alla selezione di biomasse compostabili in ambito urbano: scarti vegetali, scarto di origine alimentare da raccolta differenziata, fanghi. Accanto a queste biomasse, “pulite” dal punto di vista merceologico, si possono individuare altri scarti a matrice carboniosa potenzialmente compostabili. Nel presente documento si riportano alcuni brevi e ancora preliminari evidenze sperimentali di compostaggio condotte a carico di matrici cellulose: carta e cartone provenienti da raccolta differenziata e contenitori per bevande in materiale poliaccoppiato. Si tratta di prove condotte nell’anno 2002 ed ancora in corso per cui i dati pubblicati sono da considerarsi parziali benché definitivi. Le prove, condotte in due impianti di compostaggio italiani, attestano la potenziale compostabilità delle matrici cellulose.

I risultati più significativi di integrazione di tali matrici nel processo di compostaggio si riscontrano quando i materiali cellulose (sia poliaccoppiati che non) sono pre-trattati al fine di umidificare la massa consentendo così una migliore miscelazione con le altre matrici e un efficace attacco microbiologico.

1.Introduzione

Le prove di co-compostaggio di matrici cellulose e biomasse fermentescibili sono state condotte su scala reale presso due impianti di compostaggio. Il co-compostaggio della carta e cartone, ricerca commissionata da Comieco, si è svolto in tre cicli mentre per il co-compostaggio dei contenitori per bevande, ricerca commissionata da Tetra Pak, si è svolto in un unico ciclo e presso un unico impianto di compostaggio.¹

2. Carta e cartone da raccolte differenziate

Sono stati condotti tre cicli di prove pilota di co-compostaggio di scarti ad elevata fermentescibilità (scarti alimentari da RD, fanghi di depurazione, residui agroindustriali, ecc.)

¹ Si ringraziano, oltre a Comieco e Tetra Pak, le aziende di compostaggio Compostaggio Lodigiano di Villanova Sillaro (LO) e Aimag di Carpi (MO).

insieme a materiali cartacei in qualità di agente di struttura in sostituzione o ad integrazione di residui vegetali da manutenzione del verde, tradizionalmente adottati a tale scopo.

Per il I° ciclo dei tre (cfr. tab.1) si è ritenuto opportuno procedere secondo lo schema delle “prove a carico progressivo”: si sono testate percentuali fisse di carta sul materiale strutturante in condizioni diverse di “criticità” del processo, cioè a quote crescenti di matrici fermentescibili (la parte problematica dal punto di vista processistico). Si è valutata pertanto l’efficacia dei materiali cartacei come materiale strutturale alternativo agli scarti di manutenzione del verde.

Il disegno sperimentale del II° e III° ciclo è derivato dai risultati acquisiti nel I° ciclo, per cui si è scelto di operare ad una miscela strutturante/putrescibile in rapporto 40:60: (p:p) con percentuali crescenti di carta (12, 18, 24%).

Il II° e il III° sono cicli gemelli in cui schema è stato riportato in due impianti a diversa tecnologia.

Tesi	Proporzioni tra materiale di struttura e matrici fermentescibili (p:p)	Quota materiale cartaceo (% p:p sul materiale di struttura)	Materiale cartaceo (% p:p sul totale)	Tecnologia adottata
I° CICLO				
1A	50/50	30	15%	Biocontainer 15 gg Cumulo rivoltato 60 gg
1B	40/60	30	12%	Biocontainer 15 gg Cumulo rivoltato 60 gg
1C	30/70	30	9%	Biocontainer 15 gg Cumulo rivoltato 60 gg
II° CICLO				
2B1	40/60	30	12	Biocontainer 15 gg Cumulo rivoltato 60 gg
2B2	40/60	45	18	Biocontainer 15 gg Cumulo rivoltato 60 gg
2B3	40/60	60	24	Biocontainer 15 gg Cumulo rivoltato 60 gg
III° CICLO				
3B1	40/60	30	12	Cumulo rivoltato 84 gg
3B2	40/60	45	18	Cumulo rivoltato 84 gg
3B3	40/60	60	24	Cumulo rivoltato 84 gg

Tabella 1: Schema *adottato* per le prove sperimentali.

2.1 L'Indice di respirazione come parametro per determinare l'efficacia del processo

Il compostaggio è un trattamento biologico che tende a mineralizzare le sostanze organiche più facilmente fermentescibili e a trasformare le sostanze organiche più complesse (lignine, tannini, cere, ecc.) in componenti altrettanto complessi ed identificabili nelle molecole umiche. Dal punto di vista biochimico, durante il processo di compostaggio avviene quindi sia una degradazione della sostanza organica, tale da ridurre drasticamente la putrescibilità del materiale (stabilizzazione), che una sua trasformazione ad originare le sostanze umiche (umificazione), che nobilitano il compost. Il raggiungimento della stabilità della biomassa, ovvero del momento in cui si individua il rallentamento dei processi a carico della sostanza organica, è determinante per definire la compatibilità agronomica tra la sostanza organica compostata, il suolo e la radice.

Diversi sono i modi per esprimere ed individuare la Stabilità: contenuto in azoto ammoniacale, indice di germinazione, indici legati all'evoluzione delle sostanze umiche, ecc.. Il parametro che ad oggi meglio descrive la putrescibilità residua del materiale, misurata come "attività microbica", è l'Indice di Respirazione che valuta la CO₂ prodotta o l'O₂ consumato (mg) per unità di massa (SV) e di tempo (h) da un campione sottoposto ad analisi.

Si possono distinguere, in relazione alla metodica analitica adottata, un Indice Statico ed un Indice Dinamico. Il metodo dinamico determina il consumo effettivo di ossigeno di una massa sottoposta ad aerazione continua, permettendo una valutazione più accurata e reale del quantitativo di ossigeno richiesto dalla sostanza organica putrescibile.

Durante le prove di co-compostaggio di carta in aggiunta a matrici a maggior grado di fermentescibilità è stato adottato il metodo respirometrico dinamico (IRD) per la valutazione dell'efficienza del processo.

E' stato calcolato il valore di Indice di respirazione dinamico sulla biomassa durante l'intera durata del processo e determinato ad intervalli regolari mediante il prelievo di campioni.

2.2 Le analisi effettuate

Il processo di compostaggio è stato valutato a due livelli, processo e prodotto, e monitorato mediante determinazioni analitiche come segue:

- ? **Andamento del processo:**
- ? Determinazioni *on-site*:
 - ✍ Temperatura
 - ✍ CO₂ (per la valutazione dell'aerobiosi del processo)
- ? Determinazioni di laboratorio (su campioni prelevati: all'inizio, alla fine della fase di bio-ossidazione accelerata o ACT, alla fine della maturazione):
 - ✍ Solidi volatili
 - ✍ Umidità
 - ✍ N-NH₄, N-NO₃
 - ✍ Indici di stabilità: attività respirometrica

? **Efficienza del processo**

o Analisi merceologica di tre frazioni per verificare il bilancio di massa (peso fresco, peso secco e SV) e la quantità di carta non degradata che residua nel sovrvallo:

- ✍ Compost: frazione < 10 mm:
- ✍ Sovvallo fine: frazione 10÷25 mm:
- ✍ Sovvallo grossolano frazione > 25 mm:

? **Qualità del prodotto** con specifico riferimento a:

? *screening* dei metalli pesanti previsti dalla L. 748/84 sui fertilizzanti:

- ✍ Cd
- ✍ Cr VI
- ✍ Cu
- ✍ Ni
- ✍ Pb
- ✍ Zn

? Solidi volatili

? Salinità

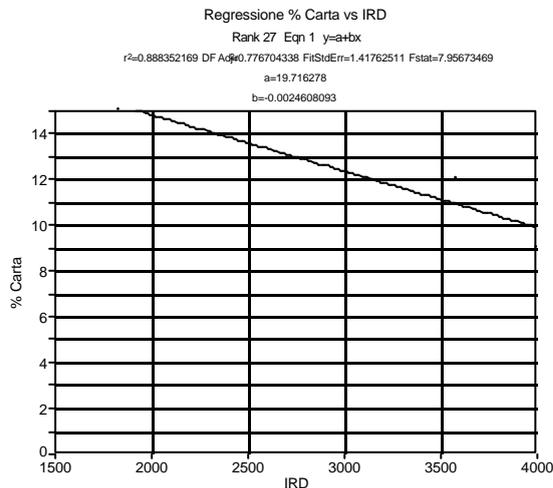
Elementi chimici della fertilità (N, P, K)

? **Analisi merceologica sovrvallo**

2.3 Riscontri analitici

Si riporta brevemente la sintesi di alcuni risultati riferiti al I° ciclo. Le prove e le verifiche analitiche sono tuttora in corso e i dati definitivi non sono ancora disponibili.

Figura 1: Regressione % Carta vs IRD (I° ciclo)



Dai dati dell'IRD si può osservare come tale indice assuma valori elevati per quanto riguarda i materiali sottoposti a prova (tempo "0"); si evince altresì come lo stesso IRD cambi in funzione della percentuale di carta corrispondente della matrice diminuendo all'aumentare della presenza di carta (**Figura 1**; R=0.94).

2.4 Andamento del processo

Per quanto riguarda la fase attiva (fase di biostabilizzazione) si verifica una diminuzione

Tesi	Tempo di processo (giorni)	pH	Umidità (% tot.)	SV (% s.s.)	IRD (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)
TESI 1A Carta 15%	0	7.88	55.75	76.47	1862
	15	8.25	58.79	74.98	1251
	45	8.09	64.1	68.83	736
TESI 1B CARTA 12%	0	5.27	57.3	77.93	3579
	15	8.11	68.15	74.93	916
	45	7.74	62.35	72.97	1007
TESI 1C Carta 9%	0	4.96	61.4	77.83	3997
	15	7.41	70.18	70	2072
	45	7.55	55.37	70.56	1264

sostanziale a carico dei SV (cfr. **Tabella 2**) dall'inizio al 45° giorno di prova. Il parametro analitico "umidità" è influenzato dalla quota di frazione fermentescibile (umido da RD) presente nelle miscele considerate; infatti si osserva come all'aumentare della quantità di umido nella miscela, si ha un corrispondente incremento dell'umidità.

Comportamento simile lo si ha anche per il pH che diminuisce all'aumentare della % crescente di umido.

Nella tesi 1B si è osservata una diminuzione molto drastica dell'IRD; si rammenta che la stabilità biologica si intende raggiunta quando l'IRD è < a IRD=1000 mg O₂ kg SV⁻¹ h⁻¹ ⁽²⁾.

2.5 Qualità del prodotto

Il compost ottenuto dalle tesi 1B è stato caratterizzato analiticamente secondo i parametri indicati nell'allegato 1.C della legge n.748/84.

² Cfr. Linee Guida Regione Lombardia e bozza "Biological Treatment" della Comunità Europea

Tabella 3: analisi del compost della tesi 1B.

PARAMETRO	Tesi 1B (I° Ciclo)	Limite 748/84
Umidità (%)	49.52	? 50
PH	8.6	6-8.5
Carbonio organico (% s.s.)	26.64	? 25
Azoto organico (%NTK)	88	? 80
Acidi umici e fulvici (% s.s.)	12.24	? 7
C/N	12.28	? 25
Cd (mg/kg s.s.)	0.49	? 1.5
Cr ^{VI} (mg/kg s.s.)	< 0.1	? 0.5
Hg (mg/kg s.s.)	0.05	? 1.5
Ni (mg/kg s.s.)	10.3	? 50
Pb (mg/kg s.s.)	36	? 140
Cu (mg/kg s.s.)	83	? 150
Zn (mg/kg s.s.)	150	? 500
Plastica ? 3.33mm (% s.s.)	=	? 0.45
Plastica > 3.33mm (% s.s.)	0.15	? 0.05
Inerti ? 3.33mm (% s.s.)	1.53	? 0.9
di cui inerti litoidi	(1.12)	
Inerti > 3.33mm (% s.s.)	2.08	? 0.1
di cui inerti litoidi	(1.95)	
Plastica + Inerti 10mm (% s.s.)	=	assenti

2.6 Sintesi dei risultati

1. L'IRD delle miscele aumenta al diminuire della quota di carta;
2. Diminuisce l'IRD e i SV in tutte e tre le tesi durante il processo;
3. L'IRD finale (dopo 45 giorni) è più basso con le più alte quote di carta (15%) e le minori % di umido nelle miscele;

4. Dal punto di vista merceologico (dati analitici non riportati nel presente testo) la tesi che ha garantito i migliori risultati è stata la tesi 1B;
5. La caratterizzazione analitica del compost della tesi 1B attesta la qualità del compost ed il rispetto della norma vigente in materia di commercializzazione dell'Ammendante Compostato Misto.

3. Contenitori Poliaccoppiati per bevanda

Attualmente i contenitori per bevande che vengono annualmente immessi al consumo (consumo apparente) in Italia ammontano a circa 120.000 ton/anno³. Da questi quantitativi circa 9.000 ton/anno sono rappresentati da scarti industriali.

I cartoni per bevande sono largamente utilizzati quale imballaggio primario; il rifiuto del cartone per bevande è presente:

1. nel rifiuto urbano indifferenziato (0,95% in peso), denominato post-consumo.
2. nei rifiuti speciali così caratterizzati:
 - ? imballaggio di rifiuti speciali agroindustriali confezionati: succhi di frutta, passati di pomodoro, latte (0,75% in peso);
 - ? imballaggio primario vuoto di rifiuti speciali agroindustriali confezionati già in precedenza utilizzato e quindi presentante tracce di alimenti;
 - ? sfrido di imballaggio derivante dal confezionamento di prodotti agroindustriali.

Diverse sono le alternative per il recupero di Contenitori per bevande in materiale poliaccoppiato. Tra questi si citano:

1. Termovalorizzazione
2. Riciclo in Cartiera
3. Repulping con recupero delle fibre di cellulosa
4. Produzione di materiali plastici (Maralhene®), pannelli impermeabili (Tectan®), reti per l'edilizia

Nel 2001 sono stati intercettati e recuperati (fonte Tetra Pak) 36.308 t pari a ca. il 30% del Tetra Pak immesso al consumo.

Se si osserva la composizione merceologica del Tetrapak (cfr. tabella 4) si nota come la componente predominante in peso è carta (> 75% s.t.q.). Da tale considerazione si è sviluppato l'interesse per la verifica della "compostabilità del Tetra Pak". Le prove sperimentali hanno dunque previsto l'introduzione di tale scarto in quota molto limitata (3-6-9%) nella miscela di biomasse da avviare alla produzione di ammendante destinato all'agricoltura.

³ AA. VV. (2002) – Cartoni per bevande poliaccoppiati a base cellulosica – Dato di recupero e riciclo anno 2001

Tabella 4: Composizione dei contenitori per bevande poliaccoppiati (Fonte Tetrapak, 2000)

Tipo di contenitore per bevande:	Carta	Alluminio	Polietilene
A lunga conservazione	75	5	20
A breve scadenza	85-90	/	10-15
Funzione del materiale	Resistenza strutturale	Evita il passaggio di aria e luce	Impermeabilità

L'elevata percentuale di cellulosa contenuta e la qualità della carta utilizzata (cellulosa a fibra lunga e vergine), hanno portato a ricercare le migliori condizioni per introdurre tale tipologia di contenitori all'interno del processo di riciclaggio della carta di una cartiera. Allo stato attuale, solamente lo scarto industriale, e non il residuo da post-consumo, viene riciclato. A tale sistema si sono affiancate prove sperimentali per verificare la compostabilità dei residui di poliaccoppiato derivanti dall'industria del confezionamento di prodotti alimentari.

3.1 Scopo della sperimentazione ed approccio metodologico della ricerca

Gli obiettivi sperimentali si possono così riassumere:



- ? Ottimizzare la fase di pre-trattamento del materiale poliaccoppiato prima della miscelazione con le biomasse di scarto
- ? Identificare la quota ottimale di poliaccoppiato
- ? Verificare l'andamento del processo di compostaggio
- ? Verificare la qualità del compost ottenuto
- ? Identificare mediante analisi merceologiche la quota di poliaccoppiato che residua dal processo

Si sono perciò allestite delle prove a carico progressivo con quote crescenti di poliaccoppiato. Il disegno sperimentale è descritto nella seguente **tabella 5**:

TESI	Quota Poliaccoppiato su totale (% s.t.q.)	Biomassa per tesi	TETRAPAK (%)	VERDE (%)	UMIDO (%)
T	0	67 t	0	50	50
A	3%	67 t	3	45	52
B	6%	67 t	6	40	54
C	9%	67 t	9	35	56

* La data di fine coincide con il 70^{esimo} giorno dall'allestimento del cumuli

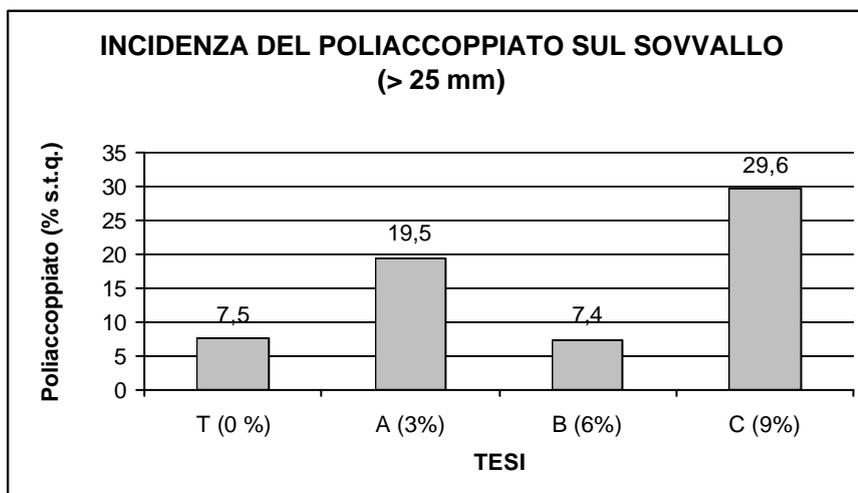
Le prove si sono svolte presso l'impianto di compostaggio Aimag di Carpi nel corso del 2002.

Tabella 6 – Analisi di laboratorio effettuate durante la prova

MATRICI	MISCELE INIZIALI	PRODOTTO FINITO (< 10 mm)	SOVVALLO (frazione 10-25 mm)	SOVVALLO (frazione > 25 mm)
Umidità 105 °C	Umidità 105 °C	Al	Umidità 105 °C	Merceologiche
Solidi volatili	Solidi Volatili	Solidi Volatili,		Umidità 105 °C
Azoto (N)	IRS	Conducibilità,		
		TOC,		
		N tot,		
		N-NH ₄ ,		
		N-NO ₃		
		IRS		
		Umidità 105 °C		

3.2 Risultati della sperimentazione

L'elaborazione dei dati, al momento della redazione del presente testo, sono ancora in corso. Si riportano pertanto solo degli estratti relativi all'analisi merceologica ritenendo interessanti i dati scaturiti dall'analisi di essa. Nel grafico della figura 2 si riporta l'incidenza del poliaccoppiato sul sovvallo (frazione > 25 mm) al termine del processo di compostaggio, ovvero dopo 70 giorni di processo.



3.2.1 Risultati delle analisi merceologiche

Le analisi merceologiche condotte a carico del sovrvallo (frazione > 10 mm) sono state introdotte come verifica analitica per quantificare quanto materiale poliaccoppiato per bevande residua dal trattamento di compostaggio. Si specifica che la quota di sovrvallo > 10 mm è stata a sua volta suddivisa in frazione compresa tra 10 e 25 mm e quota > 25 mm. Nella prima sottofrazione si è calcolata l'umidità (utile per i bilanci di massa) e si è verificato in laboratorio l'assenza di materiale poliaccoppiato; nella seconda sottofrazione (> 25 mm) si è proceduto all'analisi merceologica vera e propria. Da un'analisi dei risultati non si riscontra una corrispondenza di valori attesi tra le quantità crescenti di poliaccoppiato aggiunto (dalla tesi T alla tesi C) e il poliaccoppiato trovato nei rispettivi sovralli al termine delle prove; infatti, mentre si riscontra un'incidenza crescente del poliaccoppiato nel sovrallo per le tesi T? A? C (a testimonianza delle sempre maggiori quantità di Tetra Pak nelle miscele iniziali, nella tesi B (6% di poliaccoppiato), si ottiene un residuo notevolmente inferiore e comparabile alle tesi senza il poliaccoppiato.

Per spiegare questo risultato è bene specificare alcuni punti:

1. il Tetra Pak si presenta come materiale poliaccoppiato le cui componenti (carta, film plastico e film d'alluminio) sono in intimo contatto tra loro e, al fine di facilitare la biotrasformazione della frazione compostabile (la carta), è indispensabile procedere ad un pretrattamento idromeccanico per separare le frazioni;
2. l'intera sperimentazione è stata condotta su scala reale e senza una preventiva ottimizzazione del sistema di omogeneizzazione del Tetrapak;
3. parallelamente all'allestimento dei cumuli si è proceduto ad una omogeneizzazione del tetrapak con l'obiettivo di condizionare lo stato fisico del materiale sottoposto a trattamento;
4. dalle prove in campo si specifica che all'atto dell'allestimento della tesi B (cronologicamente ultima in ordine di allestimento), per una serie di circostanze (maggior manualità, rapporto acqua/tetrapak idoneo, ecc.), si è ottenuto un materiale poliaccoppiato con caratteristiche di omogeneità maggiori.

Il contenuto di poliaccoppiato nella frazione > 25 mm della tesi B può dunque trovare una spiegazione logica esaminando le caratteristiche della matrice poliaccoppiata nella miscela iniziale; ciò consente di concludere che la fase del pretrattamento rappresenta un momento delicato dell'intera operazione di co-compostaggio con materiali poliaccoppiati per bevande. Ne è testimonianza il fatto che la tesi B (con 6% di Tetra Pak nella miscela iniziale), laddove il Tetrapak ha subito un pretrattamento idoneo, consente di ottenere valori merceologici comparabili alla tesi testimone.

Dalle considerazioni sopra riportate si possono ottenere anche degli indici di rendimento del Tetrapak sottoposto a processo di compostaggio.

Prendiamo a riferimento la sola Tesi B, ovvero la tesi che ha garantito i migliori risultati, e seguiamo il bilancio di massa e poniamo come "base 100" il peso iniziale del campione di miscela:

Tabella 7 – Bilancio di massa della tesi B

Materiale	Quantitativi totali (in peso s.t.q.)	Quantitativi di Tetrapak	%	Quantitativi di Tetrapak
-----------	---	-----------------------------	---	-----------------------------

		potenzialmente presente (in peso s.t.q.)	realmente presente (in % peso s.t.q.)
Scarti organici input	100	6	6 /
Compost grezzo non vagliato	44	6	13,6 /
Sovvallo > 25 mm	19,6	6	30,6 7,4

Rendimento pretrattamento Tetrapak:

Se nel sovrvallo > 25 mm c'è un quantitativo di Tetra Pak del 7,4 %, mentre il quantitativo teorico è di 30,6%, significa che la restante parte è stata degradata o, comunque, non è più presente come frazione di scarto nel sovrvallo.

Con tale procedimento di calcolo si può calcolare quindi il rendimento che, nel caso della tesi B, è pari a:

$$? = 1 - (7,4/30,6) * 100 = 70\%$$

ovvero il 70% del Tetra Pak immesso nel cumulo viene trasformato durante il processo e non residua nel sovrvallo.

Bibliografia

Linee Guida per la costruzione e l'esercizio di impianti di produzione di compost. Regione Lombardia, appr. Comitato Tecnico Regionale 6 aprile 1999.

EUROPEAN COMMISSION, DIRECTORATE-GENERAL ENVIRONMENT,
Directorate A - Sustainable Development and Policy Support
Working document on Biological treatment, 2nd draft, Brussels, 12 February 2001

Centemero M., Caimi V. Il compostaggio dei contenitori poliaccoppiati per bevande. Rapporto di prova n.1/2002. Scuola Agraria del Parco di Monza, settembre 2002

AA. VV. (2002) – Cartoni per bevande poliaccoppiati a base cellulosa – Dato di recupero e riciclo anno 2001

Roberta Balugani (2002) Co-compostaggio di contenitori per bevande in materiale poliaccoppiato: primi riscontri sperimentali, Tesi di Laurea Università di Modena, corso di Laurea in Scienze Naturali, luglio 2002