

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

**CORSO DI LAUREA IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

*DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELLE STRUTTURE, DEI TRASPORTI, DELLE ACQUE,
DEL RILEVAMENTO E DEL TERRITORIO*

TESI DI LAUREA

in

Ingegneria Sanitaria Ambientale (LS)

**Trattamento di matrici compostabili da RU
mediante biostabilizzazione controllata,
presso l'impianto Nuova Geovis,
di Sant'Agata Bolognese**

CANDIDATO
Silvia Giubertoni

RELATORE
Prof. Ing.
Maurizio Mancini

Anno Accademico 2008/09
Sessione III

Indice

INTRODUZIONE.....	1
1 SITUAZIONE DEI RIFIUTI.....	3
1.1 EUROPA.....	3
1.1.1 <i>Produzione dei rifiuti urbani in Europa</i>	4
1.1.2 <i>Gestione dei rifiuti urbani in Europa</i>	10
1.2 ITALIA	12
1.2.1 <i>Produzione e raccolta differenziata dei rifiuti urbani a livello nazionale</i>	12
1.2.1.1 Produzione dei rifiuti urbani	12
1.2.1.2 Raccolta differenziata	14
1.2.2 <i>Gestione dei rifiuti urbani a livello nazionale</i>	19
1.3 LIVELLO REGIONALE.....	26
1.3.1 <i>Produzione e raccolta differenziata dei rifiuti urbani a livello regionale</i>	26
1.3.1.1 Produzione dei rifiuti urbani	26
1.3.1.2 Raccolta differenziata	29
1.4 SITUAZIONE DEL SISTEMA DI COMPOSTAGGIO	34
1.4.1 <i>Livello nazionale</i>	34
1.4.2 <i>Livello regionale (Emilia Romagna)</i>	41
2 NORMATIVA DI SETTORE.....	43
2.1 NORMATIVA COMUNITARIA DI RIFERIMENTO	44
2.2 NORMATIVA NAZIONALE	45
2.3 NORMATIVA REGIONALE	54
3 BIOSTABILIZZAZIONE OSSIDATIVA DELLA SOSTANZA ORGANICA	57
3.1 CONTESTO DI APPLICAZIONE DEL PROCESSO	57
3.1.1 <i>Categorie di rifiuti compostabili e ruolo nella gestione dei rifiuti</i>	57
3.1.1.1 Rifiuti organici provenienti da utenze selezionate.....	58
3.1.1.2 Frazioni organiche provenienti da raccolta secco-umida condotta presso utenze domestiche.....	60
3.1.1.3 Fanghi di depurazione urbani ed industriali.....	60
3.1.1.4 Rifiuti Verdi	60
3.2 IL PROCESSO DI COMPOSTAGGIO.....	63
3.2.1 <i>I microrganismi</i>	63

3.2.2	<i>Fasi del processo di compostaggio</i>	65
3.2.3	<i>I parametri che influenzano il processo di compostaggio</i>	71
3.2.3.1	.Temperatura.....	71
3.2.3.2	Concentrazione di ossigeno e aerazione	73
3.2.3.3	Porosità, struttura, tessitura e dimensione delle particelle	74
3.2.3.4	Umidità del materiale.....	74
3.2.3.5	Concentrazione e rapporto dei nutrienti nella biomassa	75
3.2.3.6	pH.....	76
3.2.3.7	Tempo.....	76
3.2.4	<i>Indici di evoluzione del processo</i>	76
3.2.5	<i>I metodi di compostaggio</i>	80
3.2.5.1	Tecnologia a biocelle statiche	80
3.2.5.2	Tecnologia a biocelle dinamiche	82
3.2.5.3	Tecnologia a platea insufflata.....	83
3.2.5.4	Tecnologia a bacino/corsie.....	84
3.2.5.5	Tecnologia a cilindri rotanti	86
3.2.5.6	Tecnologia a biotunnel.....	87
3.2.5.7	Tecnologia a cumuli periodicamente rivoltati	88
3.2.5.8	Il compostaggio in cumuli statici aerati	90
3.2.6	<i>Tecnologie di abbattimento delle emissioni odorigene</i>	94
4	COMPOST DI QUALITÀ	99
4.1	PARAMETRI DI QUALITÀ DEL COMPOST: QUALITÀ AGRONOMICA	99
4.1.1	<i>Elementi di fertilità chimica</i>	99
4.1.1.1	La sostanza organica.....	99
4.1.1.2	Azoto	101
4.1.1.3	Fosforo	101
4.1.1.4	Potassio	102
4.1.2	<i>Elementi di fertilità fisica</i>	102
4.1.2.1	Porosità	102
4.1.2.2	Stabilità degli aggregati	103
4.1.2.3	Proprietà idrauliche.....	103
4.2	PARAMETRI DI QUALITÀ DEL COMPOST: COMPATIBILITÀ AMBIENTALE.....	105
4.2.1	<i>I metalli pesanti nel compost</i>	105
4.3	STABILITÀ BIOLOGICA DELLA SOSTANZA ORGANICA	109

5	TIPOLOGIE DI COMPOST, AMBITI D’IMPIEGO E CERTIFICAZIONE DEL CONSORZIO ITALIANO COMPOSTATORI.....	115
5.1	TIPOLOGIE DI COMPOST E AMBITI DI IMPIEGO.....	115
5.2	CERTIFICAZIONE DEL CIC.....	119
6	CASO PRATICO: IMPIANTO DI COMPOSTAGGIO NUOVA GEOVIS, SANT’AGATA BOLOGNESE	125
6.1	OVERVIEW DELL’IMPIANTO	126
6.2	LINEE DI LAVORAZIONE	127
6.2.1	<i>Linea di Produzione della FOS</i>	127
6.2.1.1	Il processo di Biostabilizzazione	128
6.2.2	<i>Linea di Produzione del Compost di Qualità</i>	132
6.3	FASE APPLICATIVA	134
	CONCLUSIONI	139
	BIBLIOGRAFIA.....	141
	SITOGRAFIA.....	143

Introduzione

In tutti i Paesi industrializzati, il controllo della produzione e la gestione dei rifiuti costituisce una tematica destinata ad acquistare dimensioni sempre maggiori. In Italia la problematica del loro smaltimento è caratterizzata da rilevanti difficoltà, ma recentemente si cominciano ad avvertire gli effetti positivi della definizione degli obiettivi di raccolta differenziata contenuta nel D.Lgs. n.152/2006 che, superando le precedenti normative, ha disegnato un quadro di riferimento in materia di gestione dei rifiuti. Un regime di controllo e gestione integrata dei rifiuti deve: minimizzare il ricorso alla discarica e al conseguente smaltimento indifferenziato; basarsi su principi di raccolte differenziate, recupero e valorizzazione degli scarti, limitando in tal modo il rischio ambientale.

In questo ambito la trasformazione in compost può fornire una corretta soluzione sia alla crescente carenza di sostanza organica nei terreni agricoli, sia al problema dello smaltimento della ingente quantità di rifiuti organici prodotti. Tale processo, nato come metodo di trattamento, recupero e smaltimento dei rifiuti solidi urbani, e successivamente esteso ad altre materie prime (principalmente fanghi di depurazione miscelati a rifiuti solidi o ad altre sostanze utilizzate come fonti di carbonio), si basa sostanzialmente su un processo biologico di decomposizione e stabilizzazione aerobica delle sostanze organiche presenti nei materiali di scarto originari, per ottenere un prodotto finale reimpiegabile.

Il compostaggio, soprattutto quello di rifiuti raccolti o conferiti in modo differenziato, risulta un sistema competitivo a livello economico e ambientale rispetto ad altre forme di riutilizzo e riveste un ruolo importante rappresentando una forma elettiva di recupero di materia. In un'ottica di riutilizzo dei rifiuti, la tecnica del compostaggio può rappresentare, quale fonte rinnovabile di sostanza organica, una opzione estremamente valida dal punto di vista ambientale, a condizione che siano adottati standard di qualità anche per i materiali avviati al processo, puntando l'attenzione, soprattutto, su quei parametri che presentano caratteristiche di diffusione, persistenza e bioaccumulo.

La politica di gestione dei rifiuti in Europa è molto avanzata soprattutto in alcuni Paesi quali Germania, Austria, Danimarca, Olanda dove il compostaggio ha assunto dimensioni ragguardevoli. Accanto a tali situazioni si possono individuare contesti regionali, quali le Fiandre in Belgio e la Catalogna in Spagna.

Recentemente anche in Italia si può osservare un crescente interesse al problema anche sul piano normativo. Le Regioni italiane che per prime hanno incentivato il settore del compostaggio di qualità, autorizzando anche iniziative pubbliche e private, sono Piemonte, Veneto, Lombardia, Trentino-Alto Adige, Emilia Romagna, e Toscana e alcune regioni del Centro - Sud che stanno cominciando a sviluppare il settore con buoni risultati.

La relazione mira ad illustrare l'importanza del compostaggio, quale tecnologia per lo smaltimento dei rifiuti e recupero di risorse. Vengono descritti il processo di stabilizzazione aerobica, i meccanismi microbici e i parametri fisico-chimici che lo caratterizzano. È evidenziata l'importanza della raccolta differenziata e della scelta delle matrici compostabili nell'ottimizzazione di questa biotecnologia spontanea per il trattamento di rifiuti e reflui organici putrescibili. È sottolineato, inoltre, come una corretta gestione del processo permetta di valorizzare residui di varia natura trasformandoli in un buon compost, prodotto valido dal punto di vista agronomico e ambientale.

Nella parte finale della relazione verrà inoltre descritto un impianto di compostaggio, presente nel territorio regionale, la Nuova Geovis di Sant'Agata Bolognese e dal punto di vista applicativo, verrà costruito un modello, che permetta di legare l'andamento della temperatura all'andamento dell'IRD, Indice di Respirazione Dinamico, attraverso dati raccolti presso l'impianto, relativi ovviamente a Indice di Respirazione Dinamico (IRD) e temperatura. Questo anche per valutare il corretto del processo stesso.

1 Situazione dei rifiuti

Per contestualizzare il settore in oggetto a questa trattazione, è necessario descrivere nel dettaglio la produzione e la gestione dei rifiuti nei tre livelli principali del territorio: Europa, Italia, Regione Emilia Romagna.

Inoltre si riserverà un paragrafo alla descrizione della situazione del sistema di compostaggio, a livello nazionale e regionale, con riferimento al periodo 1997-2007.

1.1 Europa

Per quanto riguarda l'Unione Europea in questo capitolo vengono presentati i principali dati relativi alla produzione e gestione dei rifiuti nei Paesi Membri dell'Unione Europea, UE 25 e UE 15.



Figura 1.1 - Unione Europea e paesi collegati

1.1.1 Produzione dei rifiuti urbani in Europa

I dati, forniti dalle pubblicazioni Eurostat (Ufficio Statistico delle Comunità Europee), relativi alla produzione di rifiuti urbani nel periodo 1997-2007 mostrano una leggera ma costante crescita della produzione negli Stati UE 25, correlabile con l'aumento della ricchezza e del reddito, come mostrato nel Grafico 1.1. Grafico 1.1: Andamento della produzione di rifiuti urbani nell'UE, anni 1997-2007 (Fonte dati Eurostat)

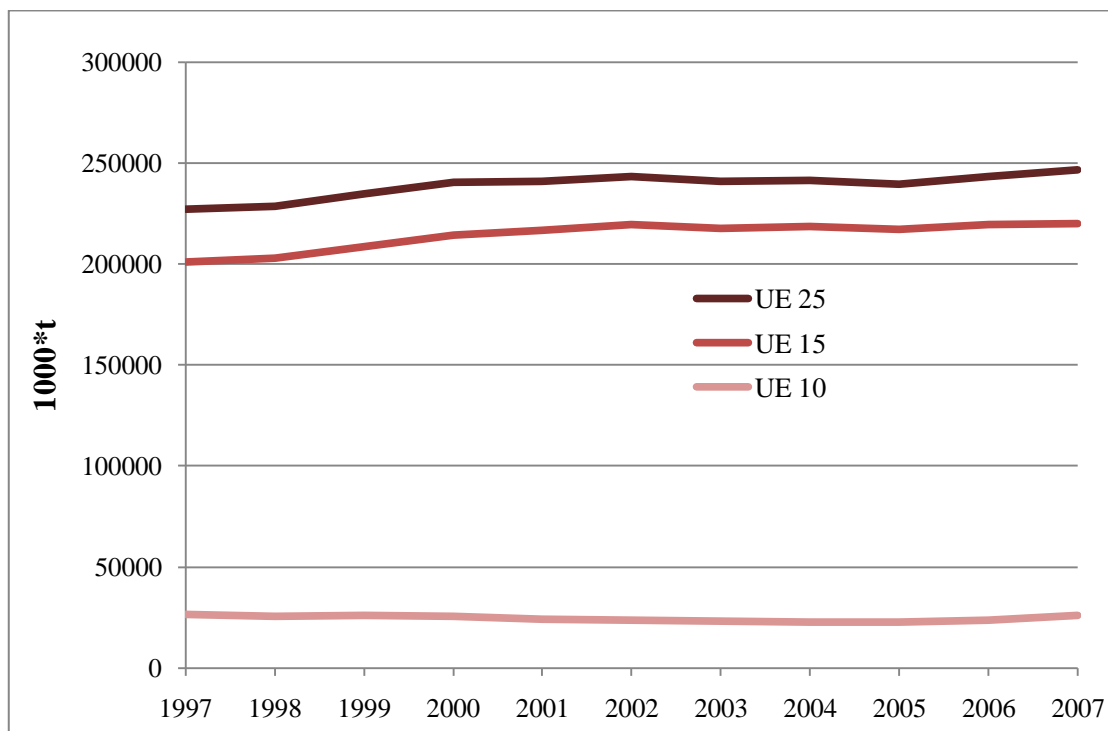


Grafico 1.1: Andamento della produzione di rifiuti urbani nell'UE, anni 1997-2007
(Fonte dati Eurostat)

I 25 Stati membri hanno prodotto, nel 2007, circa 246 milioni di tonnellate di rifiuti urbani, con un aumento di circa 1.1% rispetto al 2006. Dal 1997 al 2007 si è registrata una crescita di circa 19 milioni di tonnellate, corrispondenti ad un incremento del 8.4%.

La Tabella 1.1 entra nel dettaglio della produzione dei rifiuti urbani, riportando le serie storiche delle quantità prodotte negli Stati membri nel periodo 1997-2007.

Paese/anno	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
UE 25	227369	228413	234865	240297	240742	243133	240799	241263	239663	243515	246458
UE 15	200951	202712	208715	214497	216756	219342	217546	218380	216928	219669	220232
Austria	4241	4240	4496	4646	4634	4914	4932	5047	5081	5100	4944
Belgio	4750	4689	4754	4856	4795	4860	4668	4926	4977	4997	5207
Danimarca	3104	3141	3329	3546	3519	3568	3618	3757	3990	4000	4363
Finlandia	2300	2400	2500	2600	2412	2364	2393	2426	2483	2566	2675
Francia	29677	30449	30612	31232	32198	32684	3305	33781	33963	34843	34420
Germania	53966	53058	52373	52810	52075	52772	49622	48434	46555	46653	46425
Grecia	3900	4082	4264	4447	4559	4640	4710	4781	4853	4927	5004
Irlanda	2000	2057	2168	2279	2704	2720	2918	3001	3050	3385	3398
Italia	26605	26846	28364	28959	29409	29864	30034	31150	31677	32508	32522
Lussemburgo	253	266	278	285	285	291	306	311	321	329	330
Paesi Bassi	9180	9280	9436	9769	9803	10019	9885	10161	10178	10201	10305
Portogallo	4080	4275	4486	4813	4846	4538	4649	4570	4694	4600	5002
Regno Unito	31042	31697	33392	33954	34945	35532	35279	36121	35077	35528	34766
Spagna	22174	22423	24470	26505	26616	26404	27270	25746	25683	25532	26151
Svezia	3678	3810	3794	3796	3929	4172	4211	4169	4347	4500	4720
UE 10	26418	25701	26150	25800	23986	23791	23253	22883	22749	23846	26226
Rep. Ceca	3280	3017	3365	3434	2798	2845	2857	2841	2954	3039	3024
Cipro	433	448	458	470	490	500	518	540	553	571	587
Estonia	593	557	569	604	509	553	567	606	587	627	719
Lettonia	621	597	584	642	713	793	695	720	716	942	860
Lituania	1510	1578	1236	1276	1313	1395	1328	1260	1287	1326	1353
Malta	135	145	181	208	212	213	231	257	248	264	265
Polonia	12183	11827	12317	12226	11109	10509	9925	9759	9354	9877	12276
Slovacchia	1477	1396	1408	1369	1286	1524	1599	1475	1558	1623	1666
Slovenia	1170	1159	1090	1020	953	812	834	833	845	866	886
Ungheria	5016	4976	4943	4552	4603	4646	4700	4592	4646	4711	4590
Bulgaria	4809	4103	4141	4224	4003	3945	3916	3673	3688	3446	3593
Romania	7347	6246	7066	7961	7539	8365	7611	7483	8173	8311	8173

Tabella 1.1: Produzione di rifiuti urbani nell'UE 27 (1.000 * t) (Fonte dati Eurostat)

Il Grafico 1.2 e il Grafico 1.3 illustrano rispettivamente l'andamento negli ultimi 4 anni della produzione dei rifiuti nei Paesi dell'UE 15 e la loro ripartizione percentuale. Si può notare come quasi l'80% dei 220 milioni di tonnellate di rifiuti urbani prodotti nel 2007 nell'UE 15 sia generata da cinque Stati Membri: Germania, Regno Unito, Francia, Italia e Spagna.

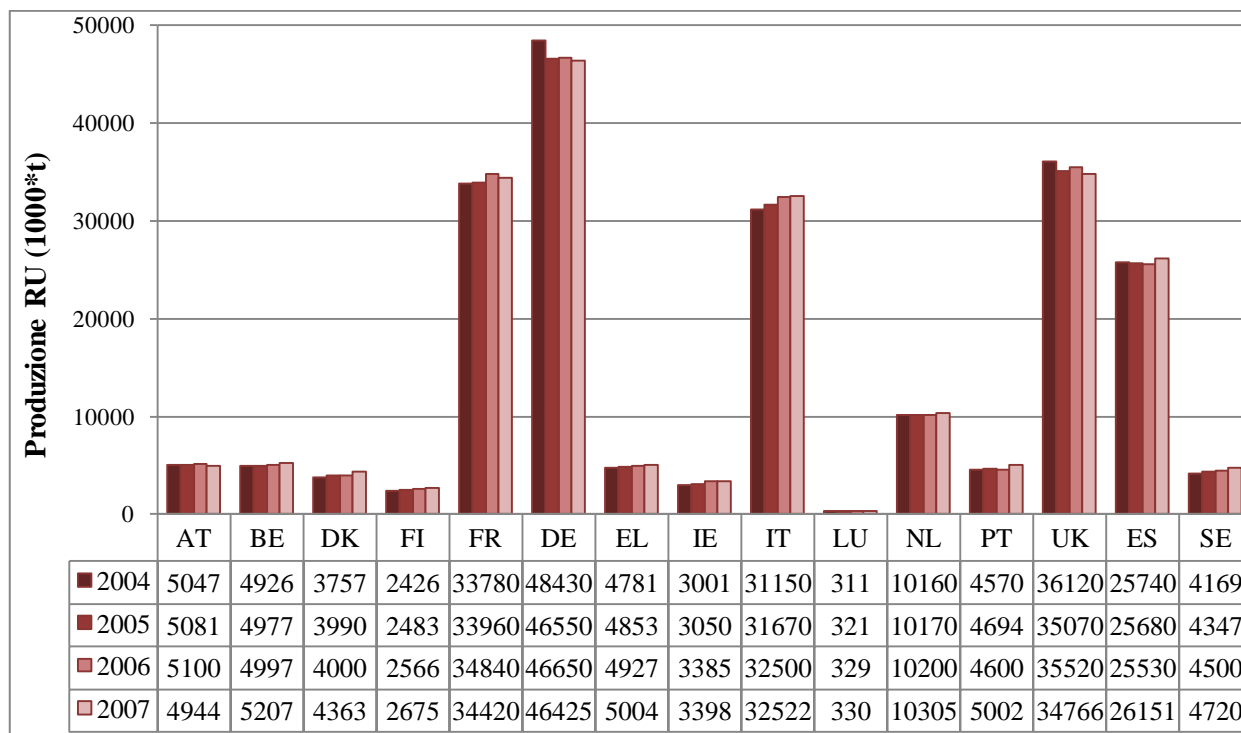


Grafico 1.2: Produzione di RU nei Paesi membri (UE 15), anni 2004-2007 (Fonte dati Eurostat)

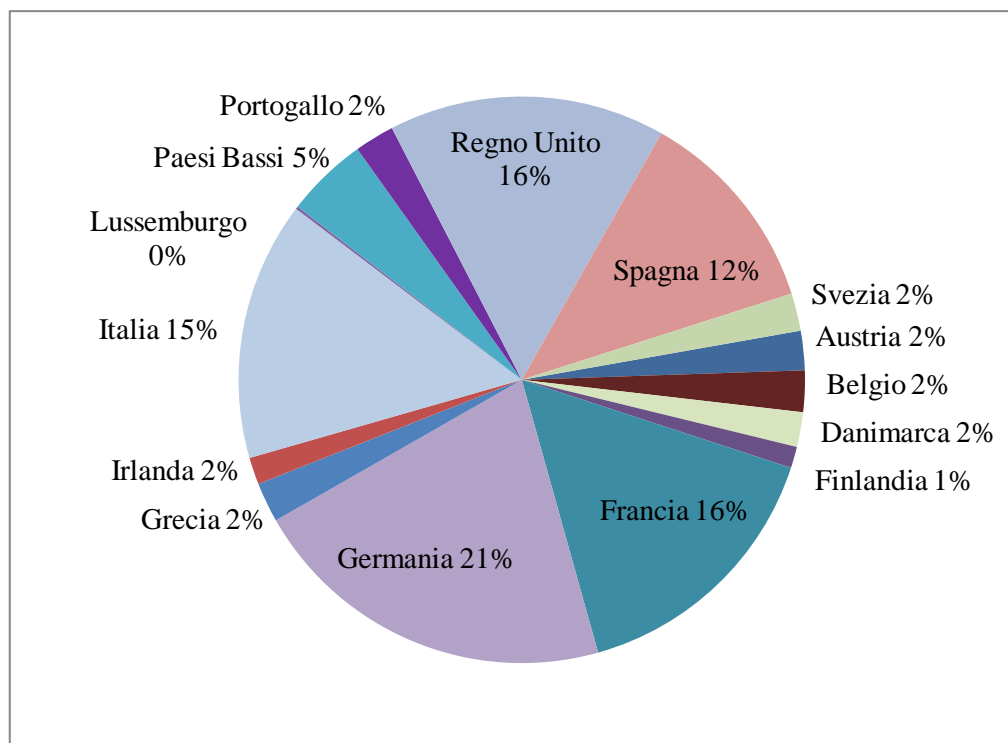


Grafico 1.3: Proporzioni nella produzione di RU nei Paesi membri (UE 15), anno 2007 (Fonte dati Eurostat)

Per quanto riguarda i Paesi entrati nell'UE nel 2004 (UE 10), il contributo maggiore alla produzione di rifiuti è a carico della Polonia (47% della produzione), Ungheria e Repubblica Ceca, responsabili del 77% dei circa 26 milioni di tonnellate di rifiuti urbani prodotti dall'UE 10, come mostrano il Grafico 1.4 e il Grafico 1.5.

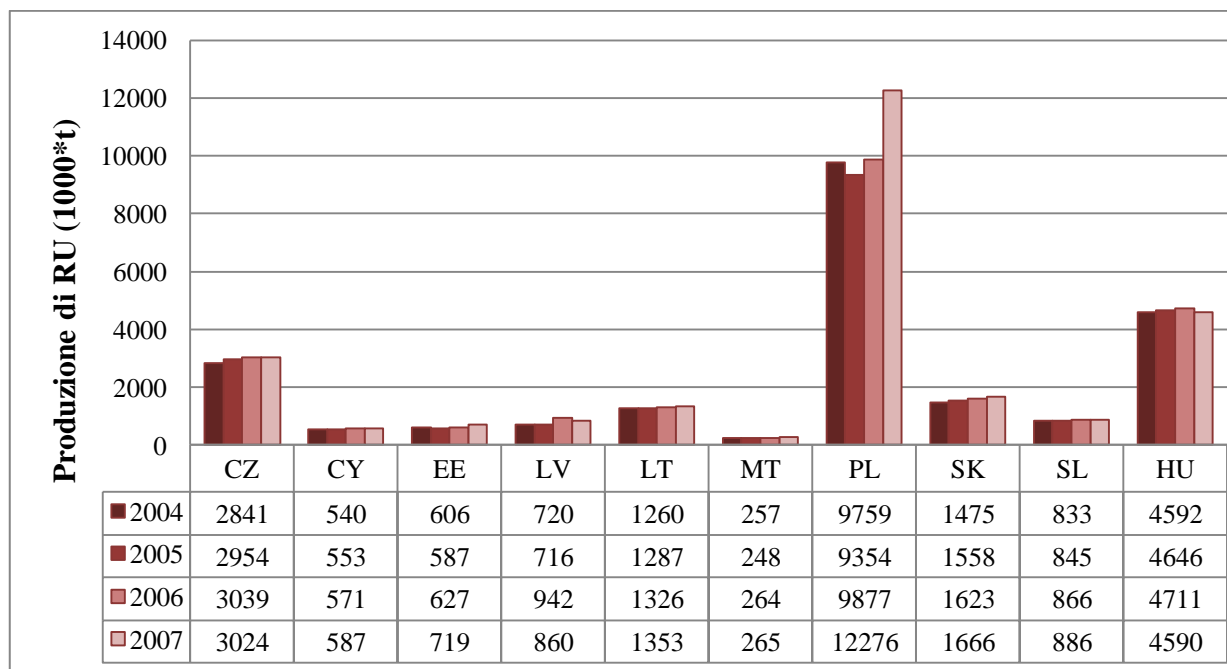


Grafico 1.4: Produzione di RU nei Paesi membri (UE 10), anni 2004-2007 (Fonte dati Eurostat)

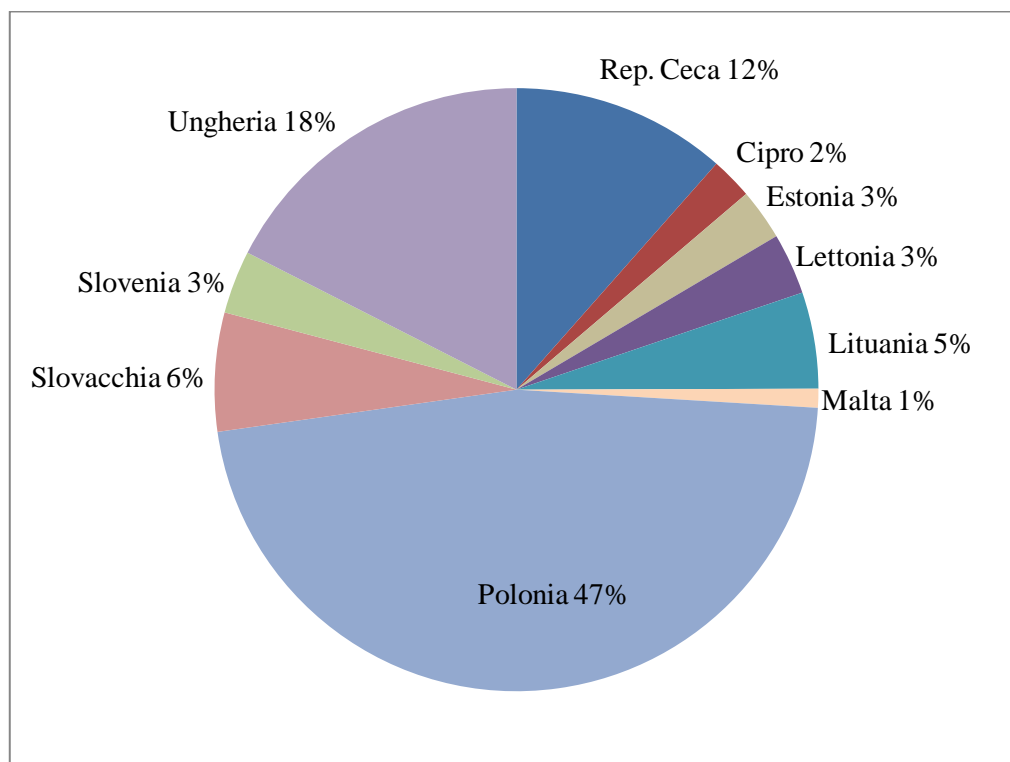


Grafico 1.5: Proporzioni nella produzione di RU nei Paesi membri (UE 10), anno 2006 (Fonte dati Eurostat)

Relativamente alla produzione di rifiuti procapite, nell'UE 25 questa risulta essere nel 2007 di circa 522 kg/abitante, mentre nell'UE 15 di circa 562 kg/abitante, con un tasso di incremento nel periodo 1997-2007 pari all'4,6% nell' UE 25 e all'4,7% nell'UE 15) (Tabella 1.2)

Paese/anno	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
UE 25	499	497	511	524	522	528	516	514	517	523	522
UE 15	537	540	555	569	572	577	565	564	558	564	562
Austria	532	532	563	581	578	609	609	620	620	653	597
Belgio	464	458	465	474	467	489	469	489	482	483	492
Danimarca	588	593	627	665	658	665	672	696	737	741	801
Finlandia	448	466	485	503	466	459	466	470	479	495	507
Francia	497	508	509	516	528	532	513	523	532	538	541
Germania	658	647	638	643	633	640	601	587	564	563	564
Grecia	363	378	393	408	417	423	428	433	438	443	448
Irlanda	547	557	581	603	705	698	736	745	740	804	788
Italia	468	472	498	509	516	524	524	538	542	553	550
Lussemburgo	607	629	650	658	650	656	684	683	678	684	694
Paesi Bassi	590	593	599	616	615	622	610	625	624	622	630
Portogallo	405	423	442	472	472	439	447	436	446	454	472
Regno Unito	533	543	570	578	592	600	593	605	585	587	572
Spagna	561	566	615	662	658	645	655	608	597	599	588
Svezia	416	431	428	428	442	468	471	464	482	497	518

Tabella 1.2: Produzione pro-capite di rifiuti urbani nell'UE 15, in kg/abitante *anno
(Fonte dati Eurostat)

Storicamente, come mostra il Grafico 1.6, nei Paesi dell'UE 15 si rileva una produzione di rifiuti urbani pro capite decisamente più elevata rispetto a quella dei nuovi Stati membri (UE 10), che nel 2007 registrano un valore pro capite di 354 kg/abitante per anno.

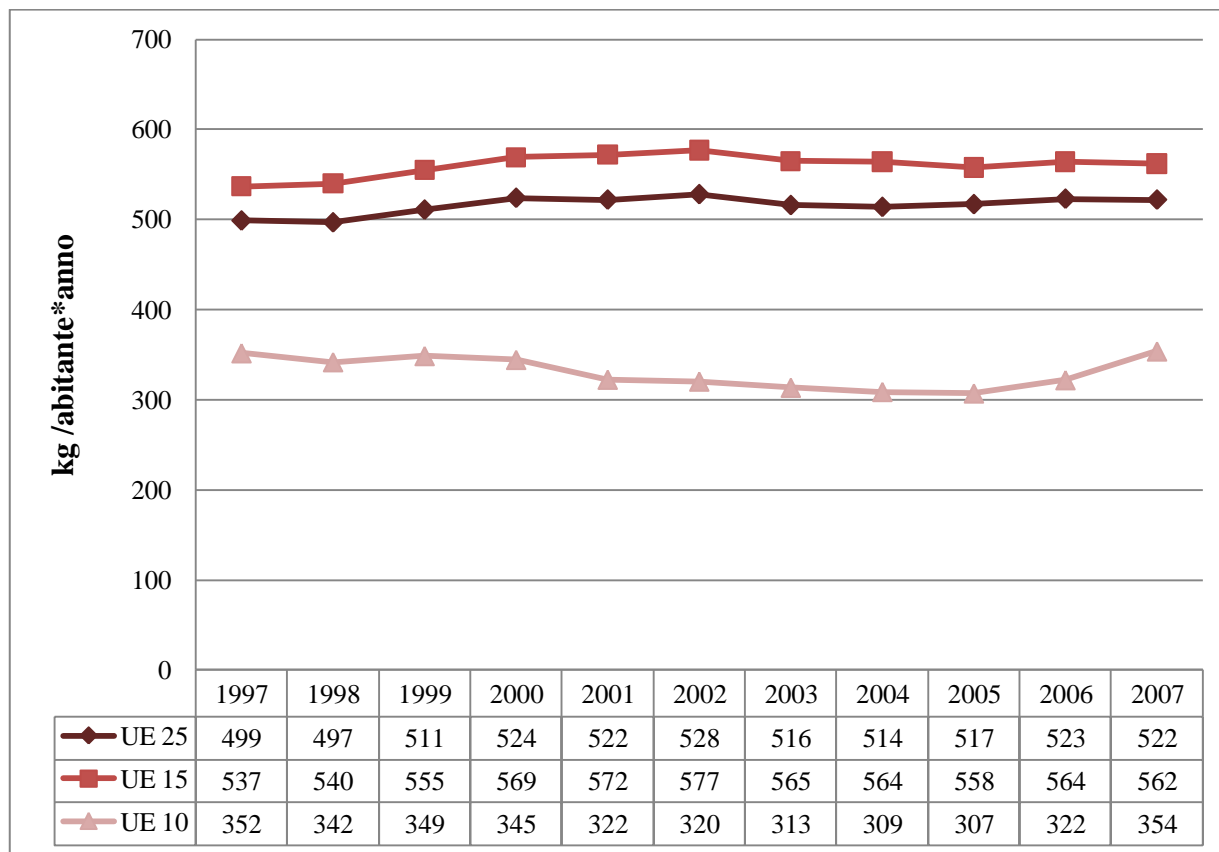


Grafico 1.6: Andamento della produzione dei rifiuti urbani pro-capite nell'UE, anni 1997-2007
(Fonte dati Eurostat)

1.1.2 Gestione dei rifiuti urbani in Europa

I dati forniti da Eurostat inerenti la gestione dei rifiuti in Europa sono disponibili solo per i rifiuti urbani. Le discariche, che sono la via di gestione meno adeguata dal punto di vista ambientale, risultano ancora l'opzione maggiormente utilizzata, come si può osservare nel Grafico 1.7

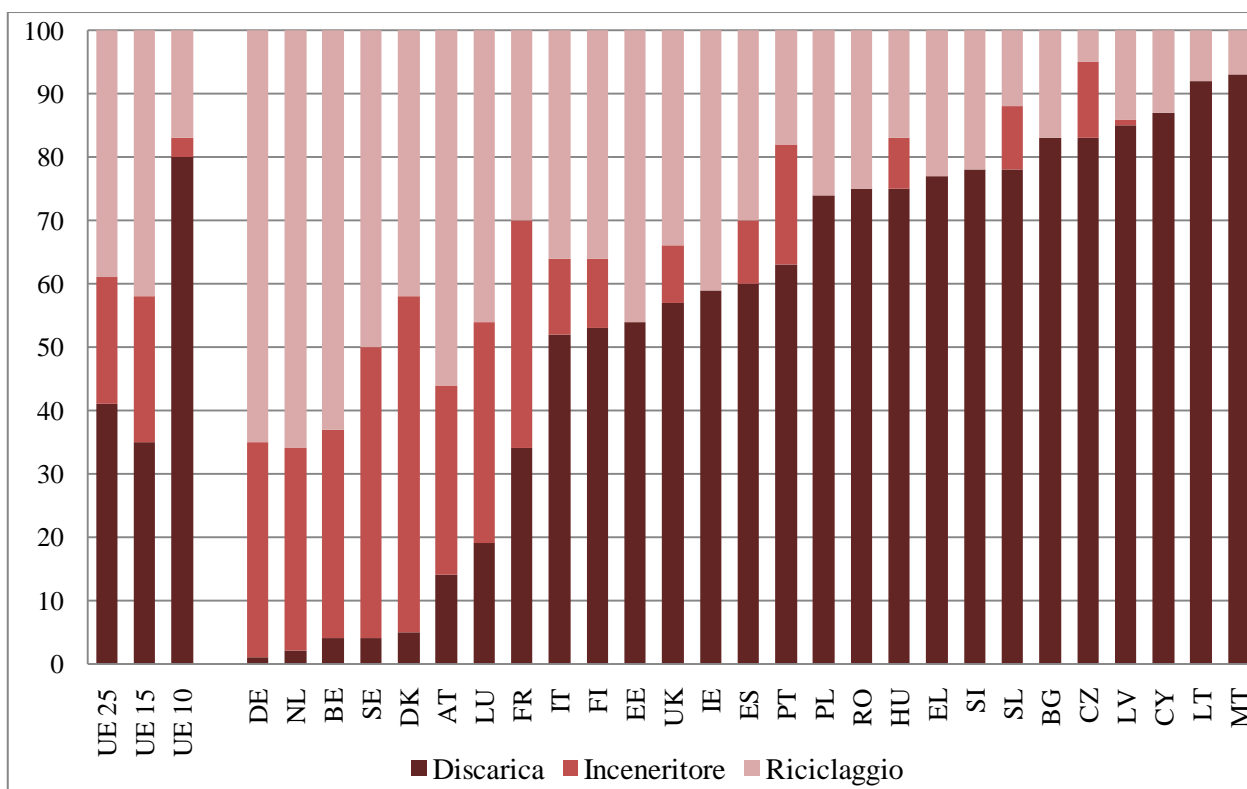


Grafico 1.7: Gestione dei rifiuti urbani nell'UE, anno 2007 (Fonte dati Eurostat)

Dal grafico si può inoltre notare come per molti Paesi dell'UE 15 il ricorso alla discarica sia inferiore al 10% in particolare per Germania, Paesi Bassi, Belgio e Svezia, mentre per i Paesi dell'UE 10 rappresenta la principale forma di smaltimento, registrando ancora valori superiori al 70%.

In seguito all'aggiornamento della Direttiva discariche 1999/31/CE, però, si è verificato un trend di diminuzione dello smaltimento in discarica, corrispondente al 46% per l'UE 15 e al 37% per l'UE 25, come si nota nel Grafico 1.8, relativa a valori procapite, nel periodo 1997-2007.

Per quanto riguarda il valore procapite relativo all'incenerimento, nell'UE 15 risulta aumentare del 45% mentre nell'UE 25 del 44%, sempre relativamente al periodo 1997-2007 (Grafico 1.9).

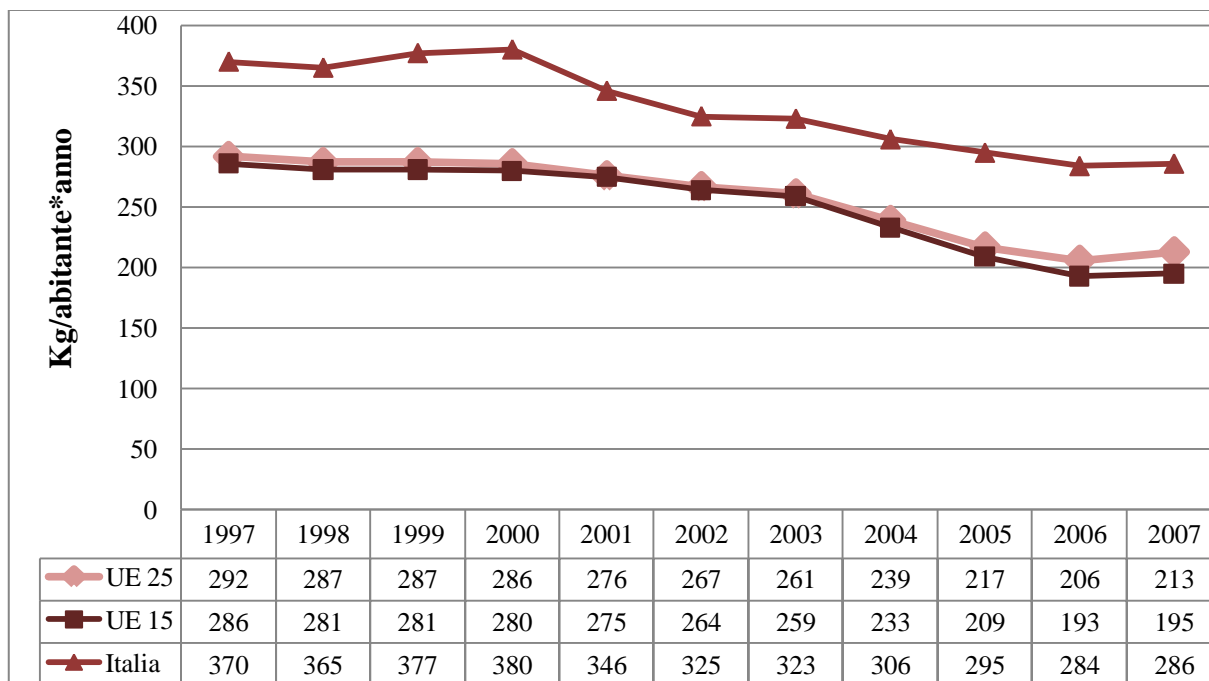


Grafico 1.8: Smaltimento pro capite dei RU in discarica nell'UE, anni 1997-2007 (Fonte dati Eurostat)

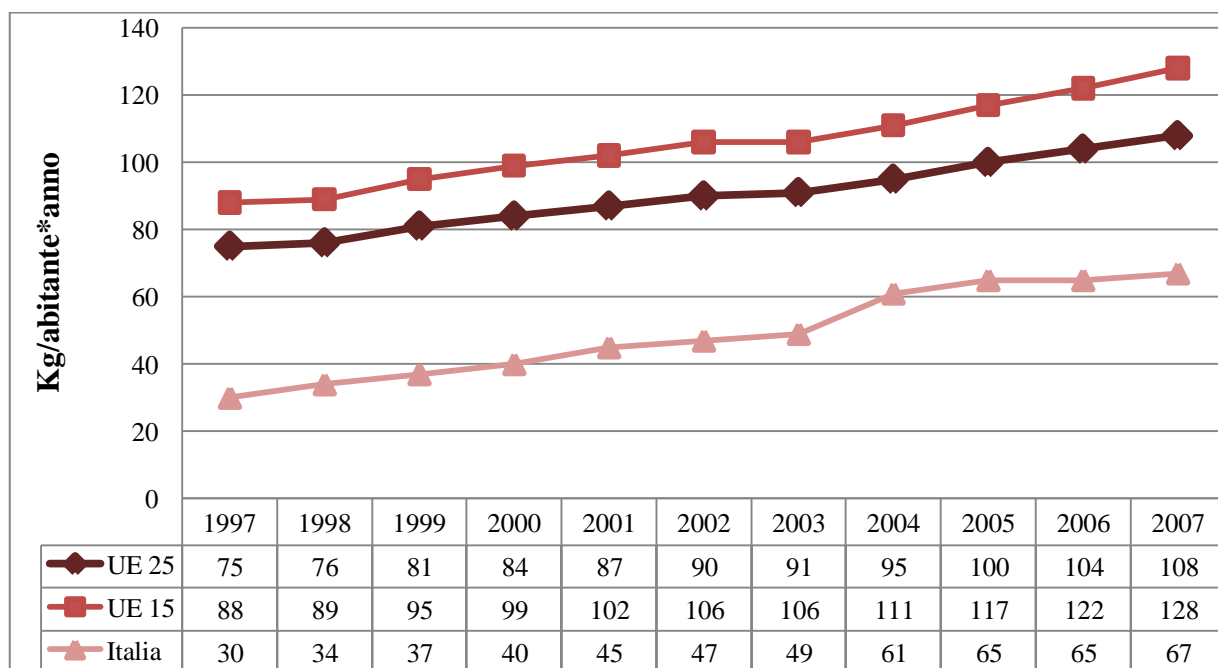


Grafico 1.9: Incenerimento pro capite dei RU nell'UE, anni 1997-2007 (Fonte dati Eurostat)

Dall'analisi di questi dati emerge quindi la possibilità di un ricorso sempre minore allo smaltimento in discarica e un corrispondente aumento e miglioramento dei sistemi di recupero e riciclaggio (compostaggio incluso) anche nei Paesi dell'UE 10, ancora lontani da queste realtà.

1.2 Italia

Prima di analizzare nel dettaglio i risultati relativi al settore compostaggio, è opportuno fornire una veloce panoramica sulla situazione riguardante i rifiuti urbani in Italia confrontando i dati del 2006 con quelli del 2007.

1.2.1 Produzione e raccolta differenziata dei rifiuti urbani a livello nazionale

1.2.1.1 Produzione dei rifiuti urbani

Per quanto riguarda la produzione nazionale di rifiuti urbani, questa si attesta, nell'anno 2007 a 32.5 milioni di tonnellate, valore analogo a quello registrato nel 2006. La crescita tra 2006 e 2007 risulta inferiore alle 40.000 tonnellate, corrispondenti ad un incremento percentuale pari a 0,1% circa. Nonostante la sostanziale stabilità rilevata nell'ultimo biennio, la produzione totale dei rifiuti urbani, a cui vanno assimilate diverse tipologie di rifiuti speciali, derivanti da circuiti produttivi, ha fatto registrare, nel periodo 2003-2007, un incremento percentuale pari all' 8,4%, con aumenti più marcati tra il 2003 e il 2004 (+ 3,4%) e tra il 2005 ed il 2006 (+ 2,7%), (Grafico 1.10, Tabella 1.3).

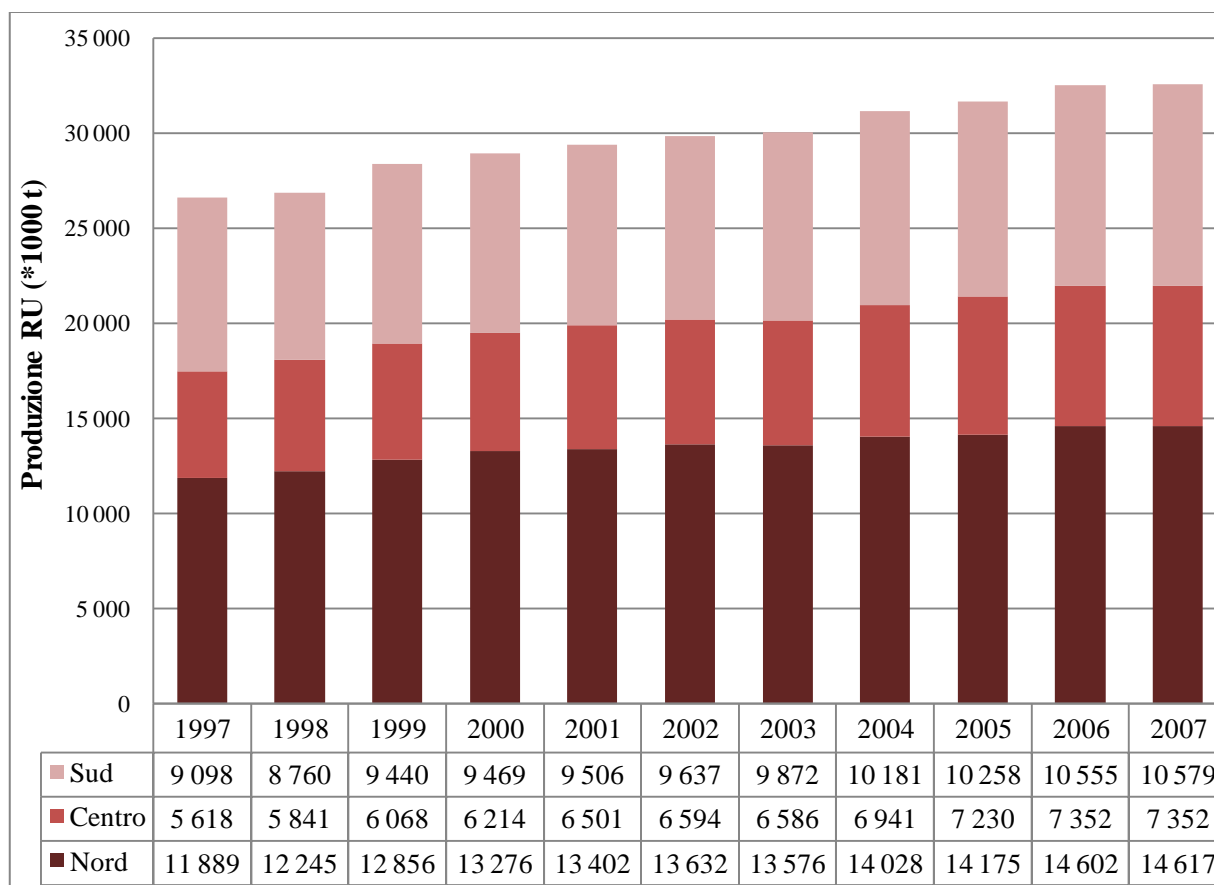


Grafico 1.10: Andamento della produzione di rifiuti urbani, anni 1997 – 2007 (Fonte dati ISPRA)

Paese/anno	2003	2004	2005	2006	2007
Piemonte	2131638	2229526	2228730	2277691	2269881
Valle d'Aosta	77713	72632	73646	74795	75755
Lombardia	4630974	4791128	4762095	4943512	4932260
Trentino Alto Adige	461067	477588	477883	492253	490022
Veneto	2136221	2185200	2273079	2379467	2372072
Friuli Venezia Giulia	588624	590302	603087	596777	618593
Liguria	936722	953157	967640	978416	981314
Emilia Romagna	2612970	2728640	2788635	2858942	2929779
NORD	13575928	14028172	14174795	14601853	14616674
Toscana	2391784	2492156	2523261	2562374	2552561
Umbria	471975	477133	556528	565120	565033
Marche	793009	824157	875571	868375	875120
Lazio	2929093	3147348	3274984	3355897	3359544
CENTRO	6585860	6940794	7230344	7351766	7352259
Abruzzo	631694	678017	694088	699600	697112
Molise	119810	122979	133365	129497	133309
Campania	2681884	2784999	2806113	2865168	2852735
Puglia	1917938	1990453	1977734	2105449	2148328
Basilicata	239410	237261	228496	236926	244655
Calabria	889083	944409	935620	939208	943205
Sicilia	2540416	2544316	2607788	2717967	2695198
Sardegna	851697	878183	875206	860966	864068
SUD	9871932	10180618	10258409	10554781	10578610
Italia	30033721	31149584	31663548	32508400	32547543

Tabella 1.3: Produzione totale di rifiuti urbani per regione, anni 2003 – 2007, tonnellate.
(Fonte dati ISPRA)

Con riferimento alle singole macroaree geografiche si nota come i dati relativi al Nord riflettano il trend registrato a livello nazionale (crescita dell'ordine dell'0,1%) nel periodo 2006-2007, per il Sud si rileva una crescita pari allo 0,2%, mentre una totale stabilità si registra per le regioni del Centro Italia.

Per quanto riguarda i dati relativi alla produzione procapite, si rileva una contrazione tra 2006 e 2007. Nell'ultimo anno infatti il valore di produzione procapite nazionale si assesta a 546 kg/abitante per anno, contro un valore pari a 550 kg/abitante per anno nel 2006 (Tabella 1.4).

Relativamente alle tre macroaree geografiche i maggiori valori, nel 2007, si riscontrano per il Centro, con 630 kg/abitante per anno ed i più bassi per il Sud, con circa 508 kg/abitante*anno.

	Popolazione	2003	2004	2005	2006	2007
Piemonte	4 401 266	504	515	513	523	516
Valle d'Aosta	125 979	643	591	594	599	601
Lombardia	9 642 406	508	510	503	518	512
Trentino Alto Adige	1 007 267	485	490	485	495	486
Veneto	4 832 340	467	465	480	498	491
Friuli Venezia Giulia	1 222 061	494	490	498	492	506
Liguria	1 609 822	596	599	601	609	610
Emilia Romagna	4 275 802	648	657	666	677	685
NORD	27 116 943	527	530	531	544	539
Toscana	3 677 048	680	693	697	704	694
Umbria	884 450	566	555	641	647	639
Marche	1 553 063	534	543	573	565	563
Lazio	5 561 017	569	597	617	611	604
CENTRO	11 675 578	600	617	639	637	630
Abruzzo	1 323 987	496	522	532	534	527
Molise	320 838	373	382	415	405	416
Campania	5 811 390	468	481	485	495	491
Puglia	4 076 546	477	489	486	517	527
Basilicata	591 001	401	398	385	401	414
Calabria	2 007 707	443	470	467	470	470
Sicilia	5 029 683	511	508	520	542	536
Sardegna	1 665 617	520	532	529	519	519
SUD	20 826 769	480	491	494	509	508
Italia	59 619 290	524	533	539	550	546

Tabella 1.4: Produzione pro capite di rifiuti urbani per regione, anni 2003 – 2007 (Fonte dati ISPRA)

1.2.1.2 Raccolta differenziata

Facendo riferimento al dato relativo alla raccolta differenziata, questo mostra un trend positivo rispetto al 2006: si registra infatti un valore di raccolta differenziata a livello nazionale pari a 27,5% della produzione totale di rifiuti urbani, contro un 25,8% del 2006. Tale valore risulta tuttavia inferiore sia al target del 35%, previsto dall'articolo 205 del D.Lgs. 152/2006, per il 31 dicembre

2006, sia al target del 40%, introdotto dalla legge n.296 del dicembre 2006, per il 31 dicembre 2007.

Gli obiettivi di raccolta differenziata, combinando le due normative, sono i seguenti:

- almeno 35% entro il 31 dicembre 2006;
- almeno 40% entro il 31 dicembre 2007;
- almeno 45% entro il 31 dicembre 2008;
- almeno 50% entro il 31 dicembre 2009;
- almeno 60% entro il 31 dicembre 2011;
- almeno 65% entro il 31 dicembre 2012.

La situazione appare comunque molto diversificata passando da una macroarea geografica all'altra: infatti mentre il Nord, con un tasso di raccolta pari al 42,2% supera l'obiettivo del 2007, il Centro e il Sud, con percentuali rispettivamente pari a 20,8% e a 11,6%, risultano ancora lontani da tale obiettivo (Tabella 1.5, Grafico 1.11).

	2003		2004		2005		2006		2007	
	1000*t	%	1000*t	%	1000*t	%	1000*t	%	1000*t	%
Nord	4 544	33.5	4 974	35.5	5 378	37.9	5 825	39.9	6 204	42.4
Centro	1 129	17.1	1 270	18.3	1 388	19.2	1 472	20	1 530	20.8
Sud	666	6.7	823	8.1	906	8.8	1 077	10.2	1 224	11.6
Italia	6 339	21.1	7 067	22.7	7 672	24.2	8 374	25.8	8 958	27.5

Tabella 1.5: Raccolta differenziata dei rifiuti urbani per macroarea geografica, anni 2003- 2007
(Fonte dati ISPRA)

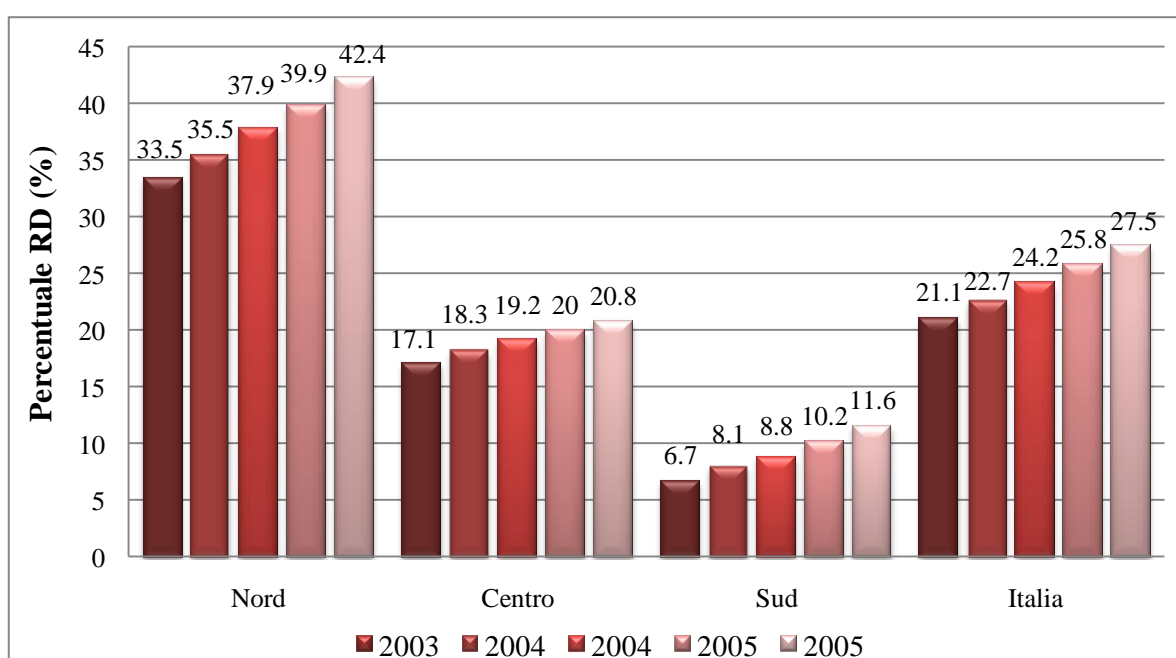


Grafico 1.11: Andamento della raccolta differenziata dei RU, anni 2003 – 2007 (Fonte dati ISPRA)

In valore assoluto, la raccolta differenziata a livello nazionale cresce, tra il 2006 ed il 2007, di oltre 580 mila tonnellate grazie, soprattutto, al contributo delle regioni settentrionali (+380 mila tonnellate, +6.5%), dove il sistema di raccolta risulta già particolarmente sviluppato da diversi anni. Un incremento minore, in valore assoluto, si osserva per il Sud (quasi 150 mila tonnellate); tale aumento corrisponde, però, ad una crescita particolarmente rilevante in termini percentuali (+13.6% circa), rispetto i bassi livelli di raccolta finora registrati in questa macroarea geografica. Nelle regioni del centro Italia, l'incremento della raccolta differenziata si attesta, invece, a circa 58 mila tonnellate, corrispondente ad un aumento percentuale del 3.9%.

Se si analizzano i dati relativi alle diverse frazioni merceologiche coinvolte nella raccolta differenziata (Tabella 1.6, Grafico 1.12), si nota un particolare incremento, a livello nazionale, della raccolta della frazione organica (umido + verde), che passa dai 2.7 milioni di tonnellate del 2006 ai 2.9 milioni di tonnellate del 2007, con un incremento percentuale pari a 7.7%.

	Frazione Organica	Carta	Vetro	Plastica	Metalli	Legno	RAEE	Altri Ingomb.	Tessili	Selettiva	Altro
2003	1895.1	1935.8	993.0	313.6	286.8	390.8	67.0	234.0	50.0	34.1	138.8
2004	2216.0	2153.8	1056.4	353.1	358.2	477.8	74.1	165.8	56.5	26.9	128.1
2005	2426.8	2305.3	1158.9	409.2	340.1	517.4	102.0	180.3	63.3	30.8	137.9
2006	2701.1	2528.3	1239.5	457.3	337.0	580.7	107.8	156.2	70.3	32.3	163.2
2007	2909.6	2697.0	1296.7	500.1	361.8	642.5	116.2	201.3	73.4	30.5	129.0

Tabella 1.6: Raccolta differenziata delle principali frazioni merceologiche su scala nazionale, anni 2003 – 2007 (1.000*t) (Fonte dati ISPRA)

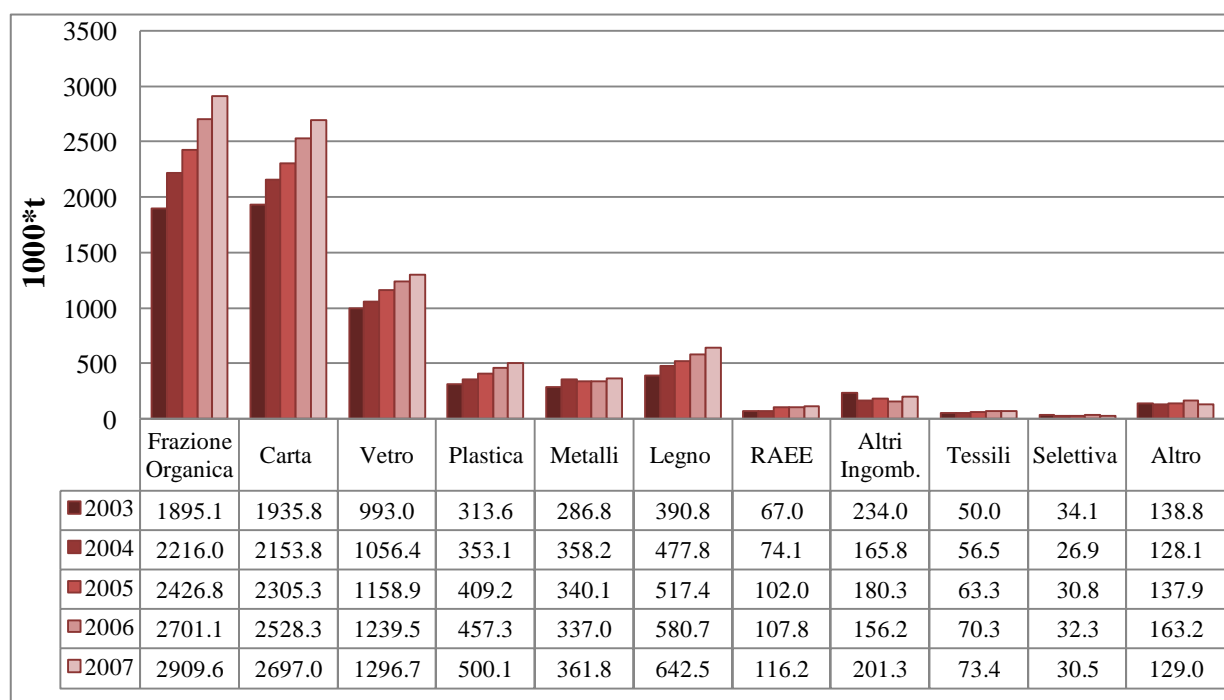


Grafico 1.12: Raccolta differenziata per frazione merceologica, anni 2003-2007 (Fonte dati ISPRA)

La raccolta della frazione organica è diffusa soprattutto nelle regioni del Nord, dove risulta più sviluppato il sistema impiantistico di recupero mediante compostaggio di qualità (oltre 3.2 milioni di tonnellate di potenzialità di trattamento). Nel settentrione il valore di raccolta pro capite si attesta ad oltre 79 kg/abitante per anno, a fronte dei circa 32 kg/abitante per anno del Centro e dei circa 18 kg/abitante per anno del Sud, mentre a livello nazionale si colloca a quasi 49 kg/abitante per anno (Grafico 1.13, Grafico 1.14). Il divario tra le tre macroaree geografiche nei valori pro capite di raccolta differenziata della frazione organica appare, dunque, ancora abbastanza rilevante.

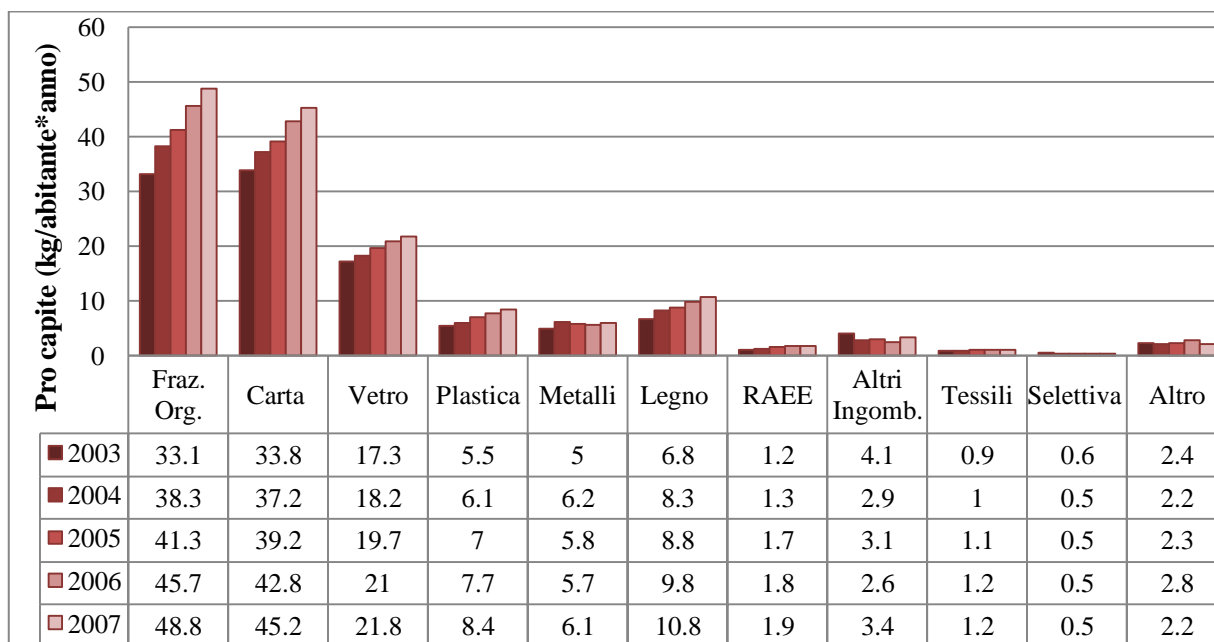


Grafico 1.13: Raccolta differenziata pro capite per frazione merceologica a livello nazionale, anni 2003 - 2007 (Fonte dati ISPRA)

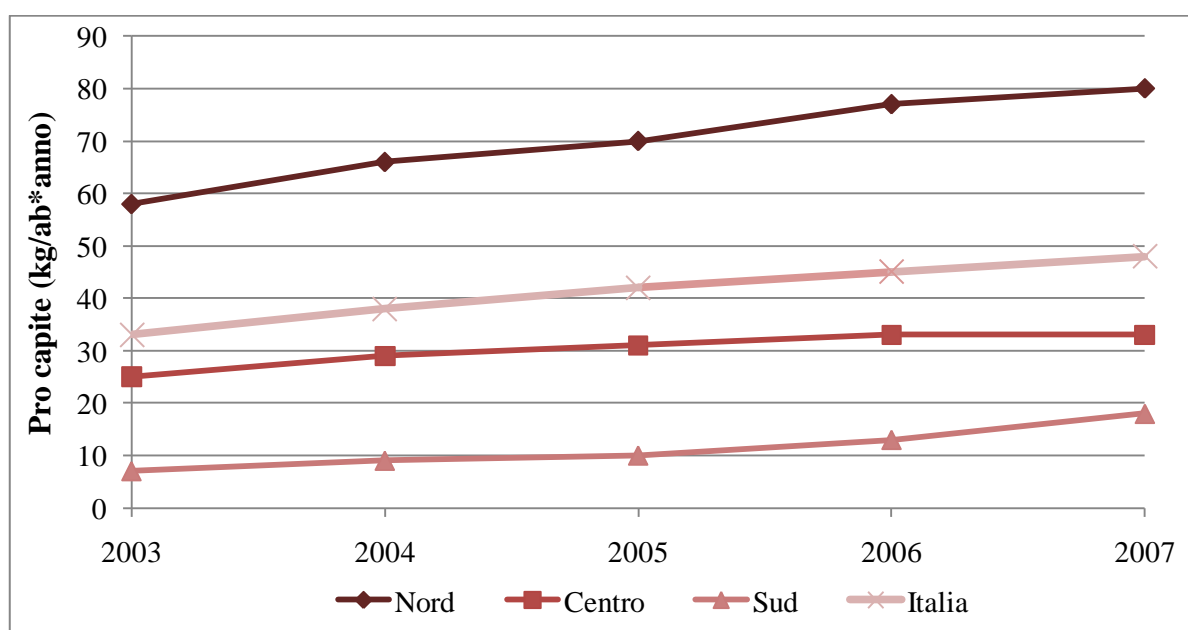


Grafico 1.14: Raccolta differenziata pro capite della frazione organica per macroarea (Fonte dati ISPRA)

La seconda frazione maggiormente raccolta nel 2007, analogamente ai precedenti anni, è quella cellulosa, con circa 2.7 milioni di tonnellate intercettate in maniera separata ed una crescita percentuale, rispetto al 2006, pari al 6.7% circa. Il pro capite nazionale si attesta a circa 45.2 kg/abitante per anno, con una media superiore ai 61 kg/abitante per anno al Nord, di quasi 54 kg/abitante per anno al Centro, ed inferiore a 20 kg/abitante per anno al Sud.

La frazione cellulosa e quella organica rappresentano, nel loro insieme, più del 62.5% del totale della raccolta differenziata (Grafico 1.15).

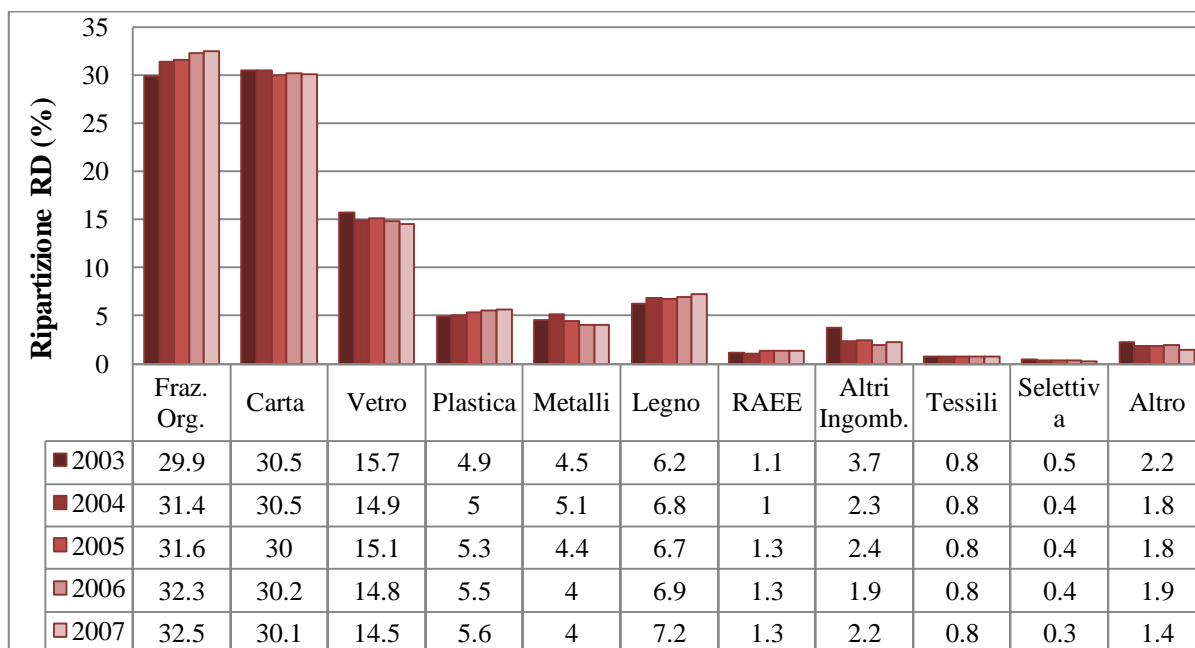


Grafico 1.15: Ripartizione percentuale della raccolta differenziata, anni 2003-2007 (Fonte dati ISPRA)

Esse, inoltre, unitamente alle frazioni tessili ed al legno costituiscono i cosiddetti rifiuti biodegradabili (RUB), relativamente ai quali il D.Lgs. 36/2003 ha introdotto specifici obiettivi di riduzione dello smaltimento in discarica. Essi incidono in maniera rilevante sull'intero sistema di raccolta differenziata, con un quantitativo intercettato, nel 2007, pari ad oltre 6.3 milioni di tonnellate. La percentuale sul totale della raccolta differenziata è 70.6% (Tabella 1.7).

Anno	Frazione organica	Carta e cartone	Imballaggi in legno	Ingombranti in legno	Tessili	Tot rifiuti biodegradabili	RD	% rifiuti biodegradabili sul totale RD
	1000*t							%
2003	1895.1	1935.8	284.9	105.9	50.0	4271.7	6339.0	67.4
2004	2216.0	2153.8	280.7	197.1	56.5	4904.1	7066.8	69.4
2005	2426.8	2305.3	343.5	173.9	63.3	5312.8	7672.0	69.2
2006	2701.1	2528.3	376.2	204.5	70.3	5880.5	8373.7	70.2
2007	2909.6	2697.0	394.5	248.0	73.4	6322.6	8958.2	70.6

Tabella 1.7: Raccolta differenziata dei rifiuti biodegradabili, anni 2003-2007 (Fonte dati ISPRA)

In linea con diversi programmi regionali di riduzione dello smaltimento in discarica dei rifiuti biodegradabili, prevalentemente orientati a privilegiare l'intercettazione della frazione biodegradabile attraverso la raccolta differenziata si osserva, tra il 2003 ed il 2007, un aumento percentuale complessivo della raccolta di umido, verde, carta, cartone, legno e tessili di poco inferiore al 50%. Tra le regioni prevalentemente orientate ad incentivare la raccolta differenziata della frazione biodegradabile si citano, in particolare, il Veneto, la Lombardia, la Toscana, il Piemonte, il Trentino Alto Adige e l'Emilia Romagna, che nel loro complesso hanno raccolto, nel 2007, quasi 4.6 milioni di tonnellate di rifiuti biodegradabili, pari a circa il 73% del totale di tale tipologia di rifiuti intercettata a livello nazionale. Gli alti valori di raccolta differenziata raggiunti dalle suddette regioni sono fortemente influenzati, come emerge dal Grafico 1.16, dagli alti tassi di raccolta della frazione biodegradabile.

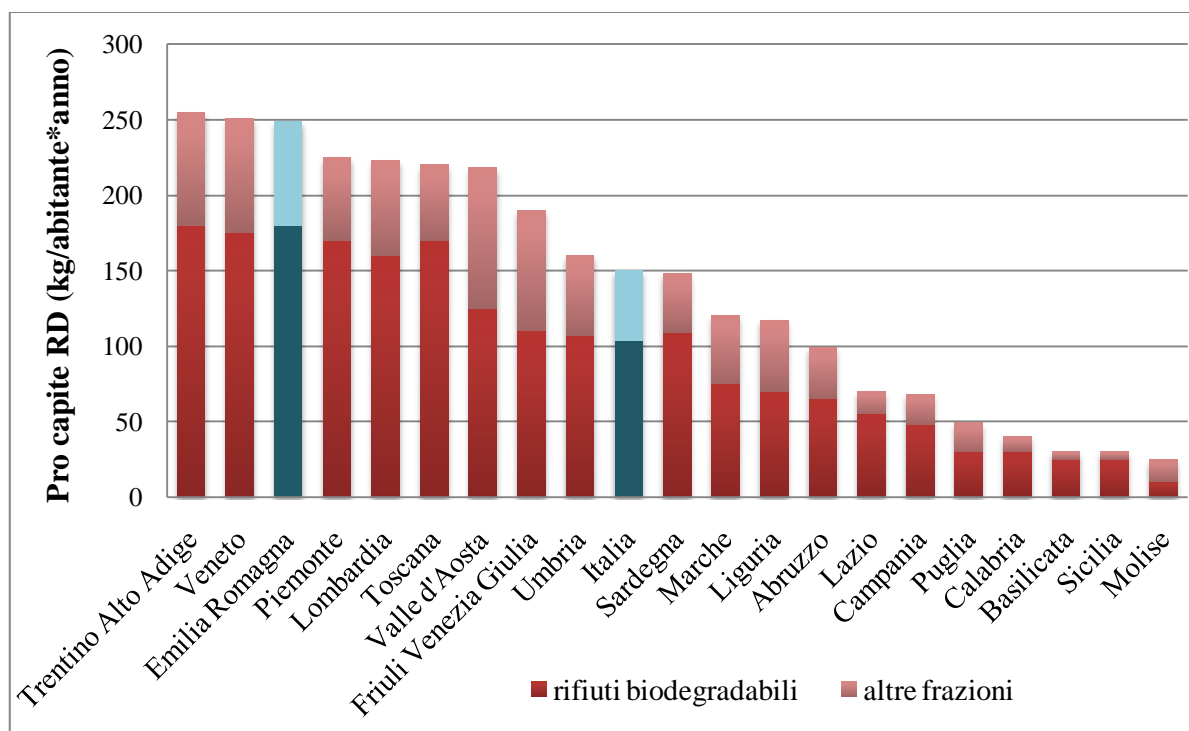


Grafico 1.16: Pro capite regionale della raccolta differenziata della frazione biodegradabile
(Fonte dati ISPRA)

Una crescita pari al 9.4% circa si rileva, invece, per quanto attiene alla raccolta della plastica, frazione quasi interamente costituita dai rifiuti di imballaggio ed una crescita del 7.4% per quanto riguarda la raccolta delle frazioni metalliche.

1.2.2 Gestione dei rifiuti urbani a livello nazionale

L'analisi dei dati, relativi alla gestione dei rifiuti urbani nell'anno 2007, mostra una riduzione del ricorso alla discarica (-2.4% rispetto il 2006) pari, in termini quantitativi, ad oltre 614 mila

tonnellate, imputabile quasi esclusivamente al nord Italia. Il ricorso alle altre forme di gestione, appare abbastanza stabile: l'incenerimento registra un incremento dello 0.1%, mentre il compostaggio da matrici selezionate si attesta intorno al 6.1%. Lo smaltimento in discarica, che nell'arco del quinquennio esaminato (2003-2007) passa dal 53.4%, al 46.7%, si conferma la forma di gestione più diffusa, con oltre 16 milioni di tonnellate conferite. L'incenerimento, nel quinquennio mantiene una sostanziale stabilità rispetto al totale dei rifiuti prodotti a livello nazionale (quota compresa fra il 9 e il 11% dei rifiuti prodotti dal 2003 al 2007).

Appare comunque interessante notare come, parallelamente allo sviluppo della RD, si stia diffusamente consolidando il sistema industriale per il riciclo dei materiali raccolti separatamente (15.5% sul totale dei rifiuti urbani gestiti) e, all'interno di questo, appare particolarmente interessante il dato sulla crescita del compostaggio.

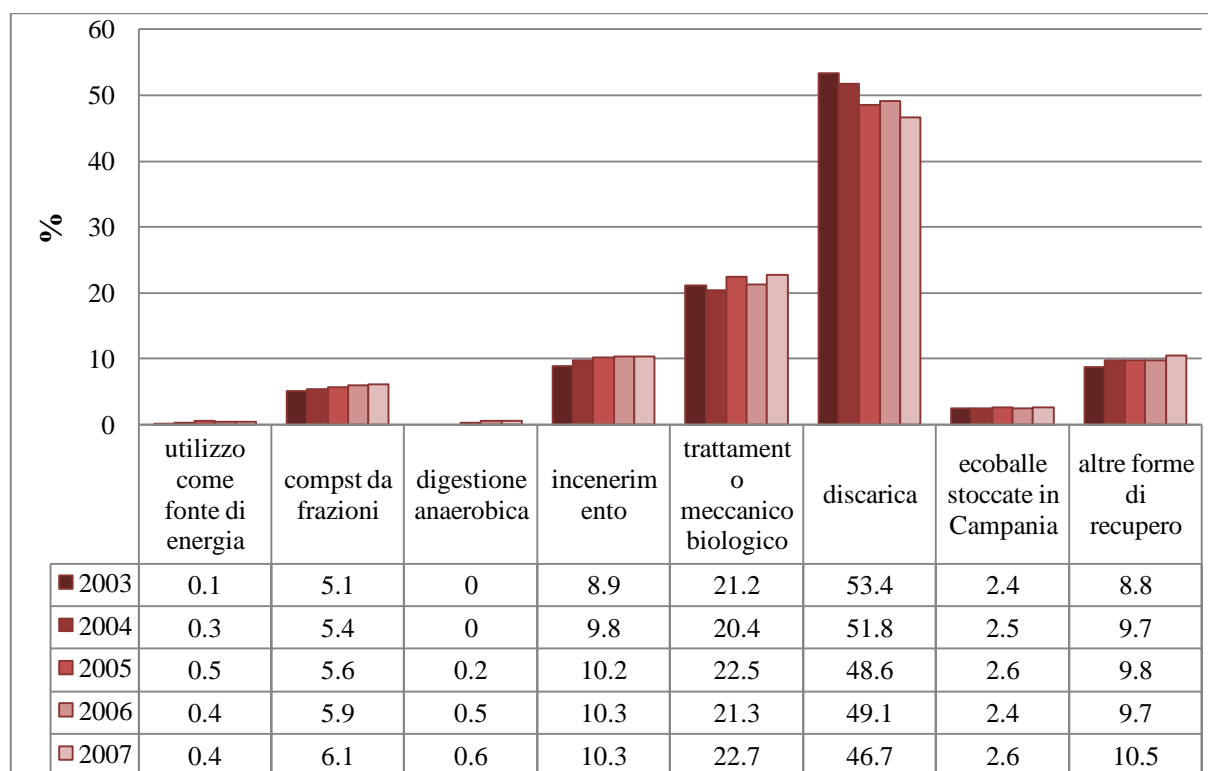


Grafico 1.17: Variazione delle tipologie di gestione dei rifiuti urbani, anni 2003-2007
(Fonte dati ISPRA)

Il compostaggio di matrici selezionate, con un quantitativo complessivo di rifiuti trattati pari a circa 2.4 milioni di tonnellate, fa infatti registrare un lieve incremento di circa il 4.8%. Tale aumento evidenzia, comunque, una progressiva crescita del settore che rimane chiaramente condizionato dagli scarsi risultati raggiunti al sud del Paese, in termini di raccolta differenziata della frazione organica (frazione umida + verde). A tal riguardo, va rilevato che il quantitativo pro capite di frazione organica da rifiuti urbani avviata a compostaggio, è pari a circa 39.7 kg a livello nazionale, ma mostra una situazione assai diversificata nelle diverse aree del Paese. In particolare al Nord

arriva a 66.3 kg/abitante per anno, mentre nelle altre zone i valori restano ancora relativamente bassi (29.8 kg/abitante, al Centro e appena 10.7 kg/abitante, al Sud). Al contrario, la potenzialità degli impianti di compostaggio, in termini di pro capite, consente ampi margini di miglioramento in tutte le aree geografiche. Nel Grafico 1.18 è rappresentata la ripartizione percentuale delle singole operazioni di trattamento-smaltimento rispetto al totale dei rifiuti urbani gestiti nell'anno 2007.

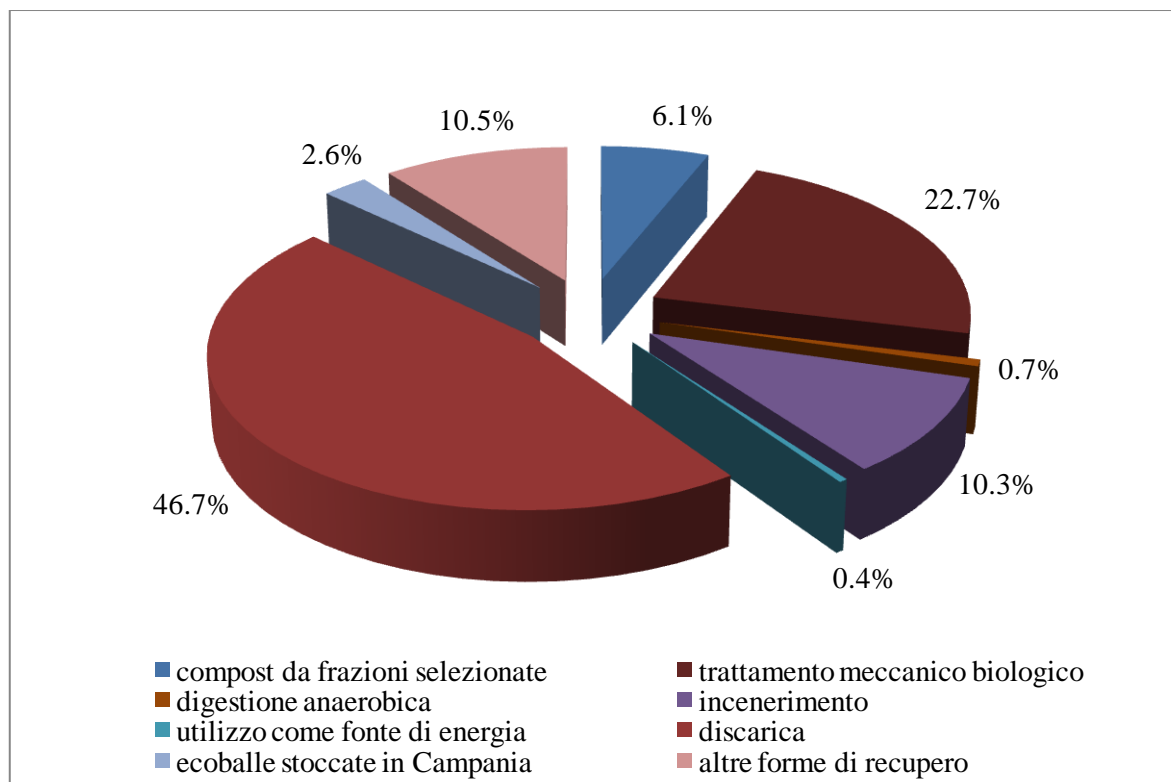


Grafico 1.18: Gestione dei rifiuti urbani, anno 2007 (Fonte dati ISPRA)

Per quanto riguarda l'incenerimento il numero di impianti di incenerimento operativi nel 2007, ha subito una leggera flessione, passando da 50 a 47, per effetto del fermo impianto, per cause differenti. Il 60% degli impianti operativi in Italia è localizzato Nord: in Lombardia sono presenti 3 impianti, in Emilia Romagna 8; in sostanza, i 2/3 dei 28 impianti operativi al Nord, sono localizzati in due sole regioni. Nelle regioni del Centro sono presenti 12 impianti, di cui 7 in Toscana, 3 nel Lazio ed uno rispettivamente nelle Marche ed in Umbria. I rimanenti 7 si trovano al Sud.

Il Grafico 1.19 mostra come i quantitativi di rifiuti urbani e CDR (Combustibile da Rifiuti) avviati ad incenerimento siano progressivamente aumentati nel periodo 1997-2007, passando da 1.8 milioni di tonnellate a quasi 4 milioni di tonnellate nel 2007; tuttavia, nell'ultimo biennio, si registra una sostanziale invarianza dei quantitativi trattati (+4.000 t). Anche il rapporto tra le quantità incenerite e la produzione di RU, pari nel 2007 al 12,2% (Grafico 1.20), fa registrare un sostanziale stabilità rispetto al 2006 (12,1%).

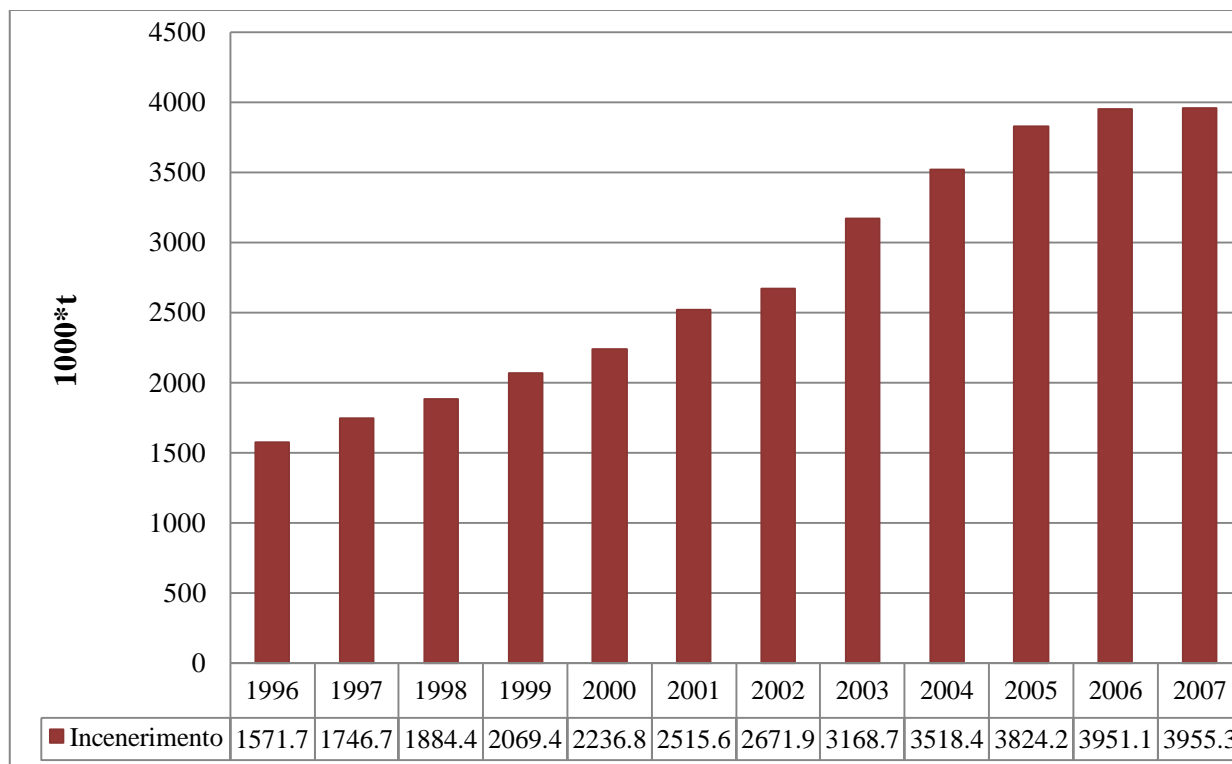


Grafico 1.19: Incenerimento di rifiuti urbani e CDR in Italia, 1000*t; anni 1996-2007
(Fonte dati ISPRA)

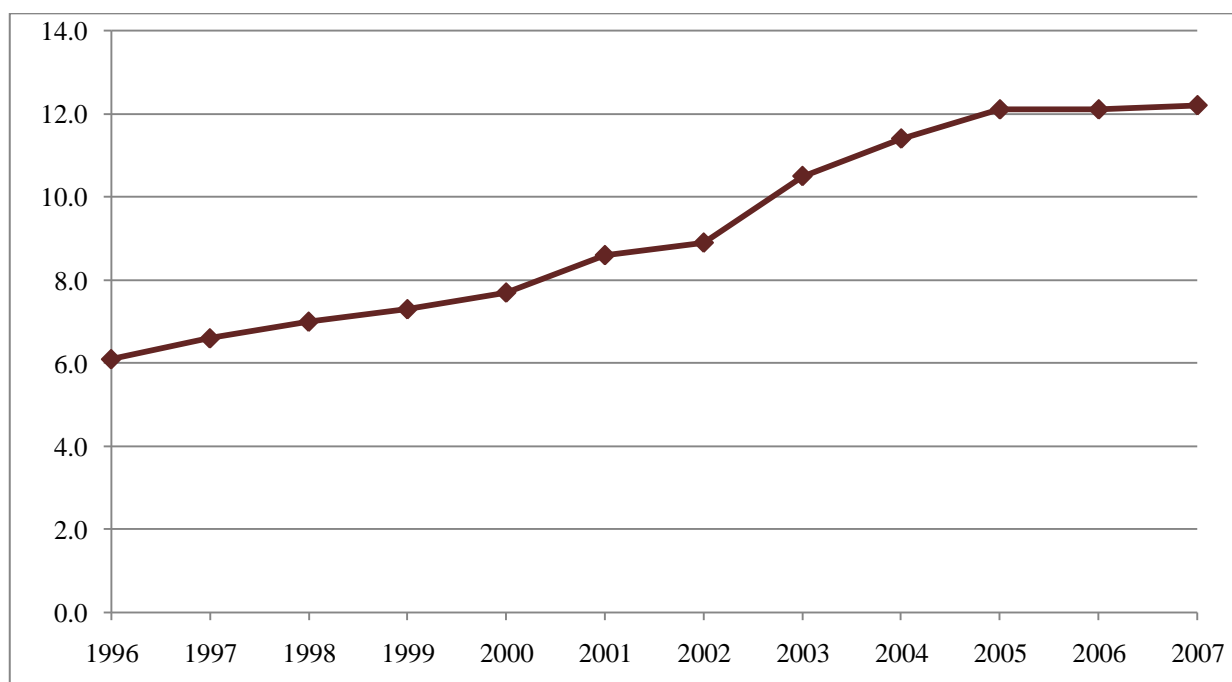


Grafico 1.20: Variazione della percentuale di incenerimento in relazione alla produzione di rifiuti urbani, anni 1996-2007 (Fonte dati ISPRA)

Nel 2007, i rifiuti complessivamente inceneriti negli impianti dedicati al trattamento dei RU, ammontano a circa 4,5 milioni di tonnellate, di cui 3 milioni di tonnellate di RU indifferenziati, 319 mila tonnellate di frazione secca da trattamento meccanico-biologico, 661 mila tonnellate di CDR,

489 mila tonnellate di altri rifiuti speciali e 36 mila tonnellate di rifiuti sanitari. Nella Tabella 1.8 è presentato il quadro relativo all'incenerimento dei rifiuti in impianti di trattamento di RU e CDR. L'analisi dei dati mostra che la maggior quantità di rifiuti è incenerita nelle regioni del Nord: la Lombardia tratta circa il 50% del totale dei RU e CDR avviati a tale forma di gestione; seguono l'Emilia-Romagna (16,3%), la Toscana (6,1%), il Lazio (4,7%), il Veneto (4,5%), la Sardegna (4,4%) ed il Friuli-Venezia Giulia (3,5%).

Regione	Quantità tot. trattata							Tot. Rifiuti trattati	Rifiuti Pericolosi	Inc. in relazione al tot. incenerito (%)	Inc. in relazione alla produzione di RU (%)
	RU	Fraz. secca da TMB	Rifiuti Sanitari		CDR	Altri Speciali					
			Non Pericolosi	Pericolosi		Non Pericolosi	Pericolosi				
Piemonte	92087	6104	-	2794	-	-	-	100985	2794	2.48	4.3
Valle d'Aosta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lombardia	1614909	172705	136	11983	177203	345420	-	2322356	11983	49.68	39.8
Trentino A. A.	67388	-	-	-	-	87	-	67475	-	1.70	13.8
Veneto	162501	16994	444	5785	-	3304	-	189028	5785	4.54	7.6
Friuli V.G.	114548	14998	2	156	8119	2420	-	140243	156	3.48	22.3
Liguria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0
Emilia R.	589841	6087	369	8908	47349	83973	-	736527	8908	16.26	22.4
NORD	2641274	216888	951	29626	232671	435204	-	3556614	29626	78.14	21.1
Toscana	132350	48508	133	3158	60060	459	-	244668	3158	6.09	9.4
Umbria	-	19801	-	325	-	23	-	20149	325	0.50	3.5
Marche	19500	-	-	-	-	-	-	19500	-	0.49	2.2
Lazio	-	-	-	-	184285	-	-	184285	-	4.66	5.5
CENTRO	151850	68309	133	3483	244345	482	-	468602	3483	11.74	6.3
Abruzzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Molise	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Campania	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Puglia	-	-	-	-	64996	-	-	64996	-	1.64	3.0
Basilicata	22917	3875	1	822	-	3002	32581	63198	33403	0.68	11.0
Calabria	-	-	-	-	116260	-	-	116260	-	2.94	12.3
Sicilia	17238	127	1	-	-	577	-	17943	-	0.44	0.6
Sardegna	141848	30006	430	182	2695	17164	-	192325	182	4.41	20.2
SUD	182003	34008	432	1004	183951	20743	32581	454722	33585	10.11	3.8
ITALIA	2975127	319205	1516	34113	660967	456429	32581	4479938	66694	100	12.2

Tabella 1.8: Quadro regionale relativo all'incenerimento di RU, anno 2007 (Fonte dati ISPRA)

Nella Grafico 1.21 sono rappresentate, per ciascuna regione, le modalità di gestione dei rifiuti urbani: recupero di materia, compostaggio di matrici selezionate, incenerimento, trattamento meccanico biologico e smaltimento in discarica. In relazione al totale dei rifiuti gestiti è possibile

rilevare, in coerenza con quanto previsto dalla gerarchia comunitaria in materia di gestione dei rifiuti, che per quanto riguarda il recupero di materia ed energia (RD, Compostaggio ed incenerimento con recupero energetico), le regioni del Nord raggiungono circa il 55%, ovvero, oltre la metà dei rifiuti urbani prodotti sono gestiti ai fini del loro recupero in termini di materia ed energia. Le regioni del Centro si attestano a circa il 21% e le regioni del Sud all'11%, con una media nazionale di poco inferiore al 32%.

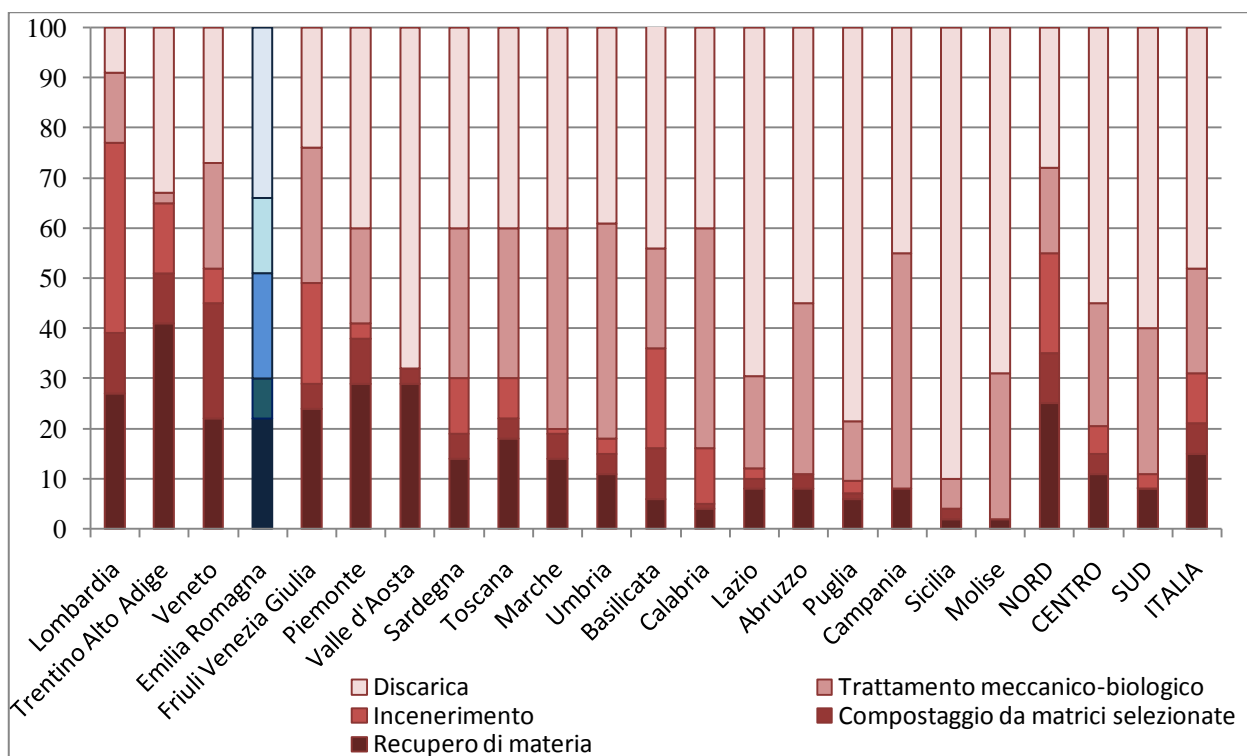


Grafico 1.21: Le forme di gestione dei RU nelle regioni italiane, anno 2007

Per quanto riguarda i rifiuti urbani smaltiti in discarica nel 2007, questi ammontano a 16.9 milioni di tonnellate, facendo registrare, rispetto al 2006, una riduzione del 3.5%, pari a circa 614 mila tonnellate di rifiuti. In particolare si è registrato come lo smaltimento dei rifiuti urbani in discarica appaia inversamente proporzionale alle performance raggiunte nelle medesime aree geografiche in termini di raccolta differenziata. In particolare l'andamento dello smaltimento dei rifiuti in discarica a livello nazionale è rappresentato in Grafico 1.22.

Nel Grafico 1.23 è riportato l'andamento del pro-capite regionale di smaltimento dei rifiuti urbani nell'anno di riferimento, con l'indicazione della quota corrispondente ai rifiuti biodegradabili. Tale quota è stata stimata da ISPRA a partire dai valori riscontrati attraverso analisi merceologiche sui rifiuti collocati in discarica, tenendo conto delle diverse tipologie di raccolta differenziata.

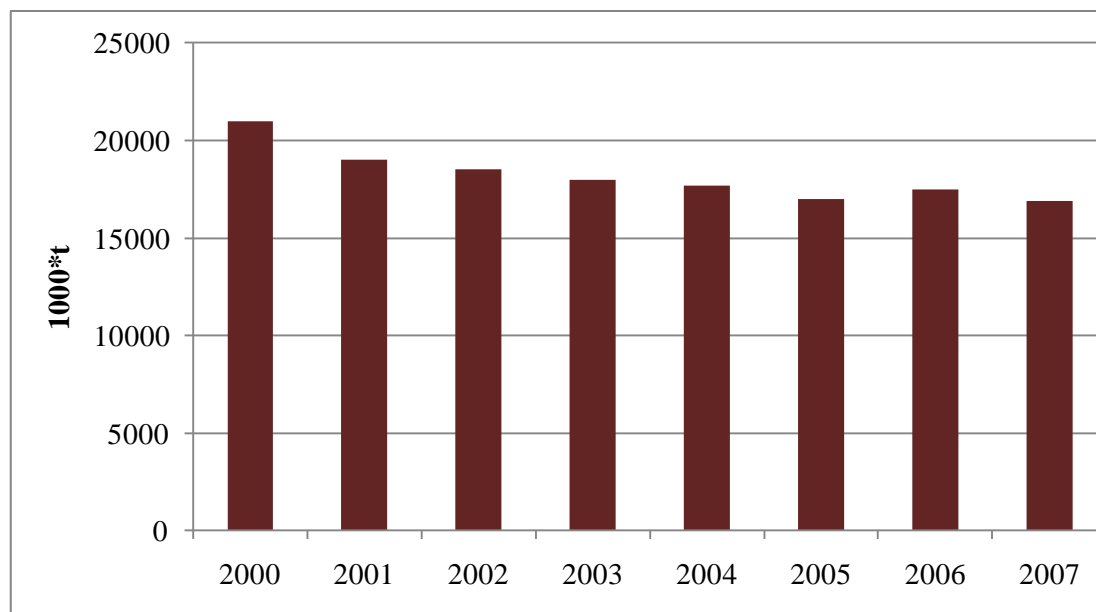


Grafico 1.22: Andamento dello smaltimento in discarica dei rifiuti urbani anni 2000-2007

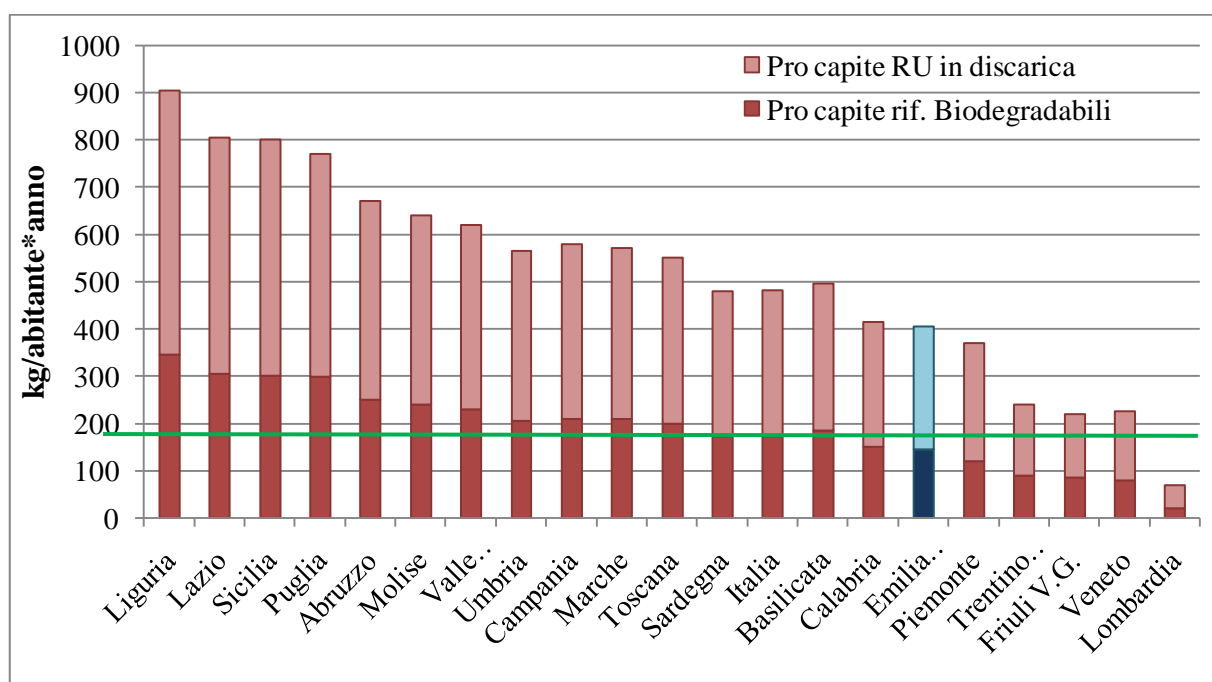


Grafico 1.23: Quota pro capite di rifiuti urbani smaltiti in discarica sul pro capite dei rifiuti

Nel grafico è inoltre indicato anche il primo obiettivo di riduzione del conferimento di rifiuti biodegradabili in discarica previsto dal D.Lgs. 36/2003, corrispondente a 173 kg/anno per abitante da raggiungere entro il 2008. L'analisi dei dati evidenzia che, nel 2007, 8 Regioni (Lombardia, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Trentino Alto Adige, Piemonte, Emilia Romagna, Calabria e Sardegna) hanno raggiunto l'obiettivo, fissato per l'anno 2008.

1.3 Livello Regionale

1.3.1 Produzione e raccolta differenziata dei rifiuti urbani a livello regionale

1.3.1.1 Produzione dei rifiuti urbani

L'analisi dei dati relativi alla produzione procapite regionale di rifiuti urbani, riferita all'anno 2007, evidenzia, analogamente a quanto riscontrato nelle precedenti rilevazioni, i maggiori valori di produzione per Toscana, con oltre 694 kg/abitante per anno, Emilia Romagna (685 kg /abitante per anno) e Umbria (639 kg/abitante per anno).

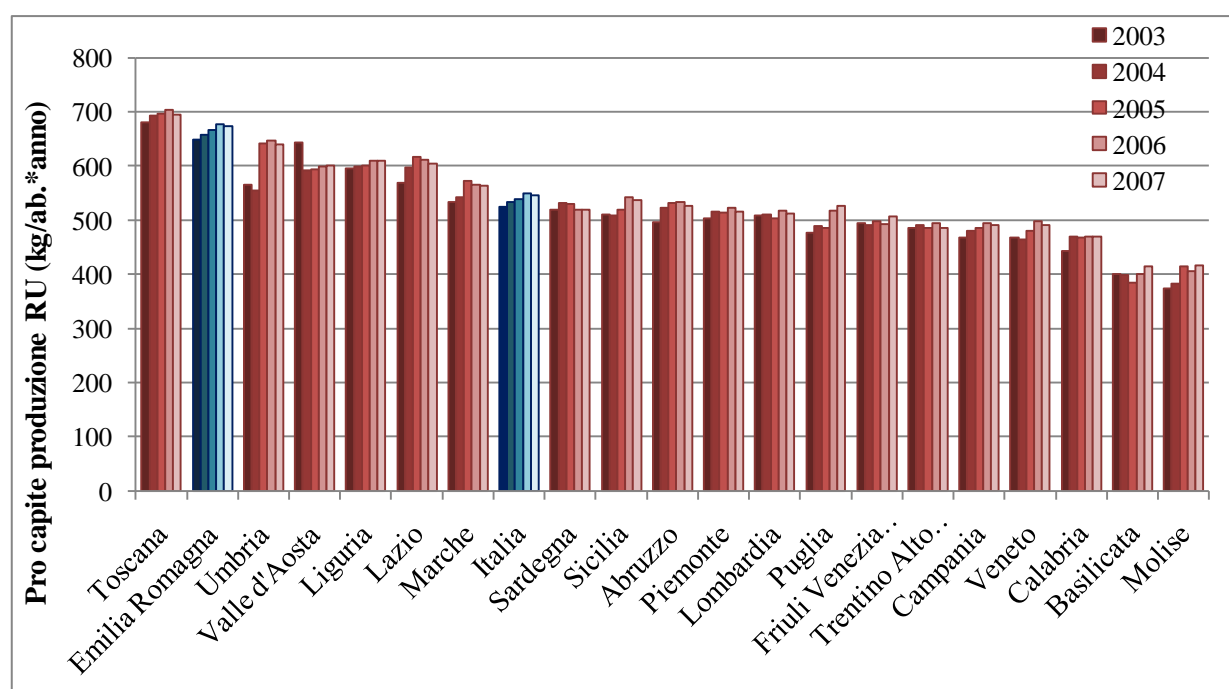


Grafico 1.24: Produzione pro capite dei rifiuti urbani per regione, anni 2003-2007 (Fonte dati ISPRA)

I maggiori incrementi di produzione procapite si riscontrano per Basilicata, Friuli Venezia Giulia, Molise e Puglia. Per le altre regioni si registrano invece o crescite decisamente contenute (Valle d'Aosta e Liguria) o una sostanziale stabilità (Sardegna e Calabria). Diverse regioni del nord Italia, inoltre, mostrano dati di produzione procapite decisamente inferiori alla media nazionale (546 kg/abitante per anno). In particolare, il Trentino Alto Adige ed il Veneto fanno rilevare valori al di sotto dei 500 kg/abitante per anno (rispettivamente 486 kg/abitante per anno e 491 kg/abitante per anno).

Per quanto attiene all'andamento del dato di produzione assoluta si rileva che la sostanziale stabilità, riscontrata a livello nazionale, appare abbastanza generalizzata anche analizzando i dati riferiti alle singole regioni. Nel caso dell' Emilia Romagna la produzione totale di rifiuti urbani nel

2007 è stata di circa 3 milioni di tonnellate, con un incremento al di sotto dell'1%, rispetto il 2006, come evidenziato dal Grafico 1.25.

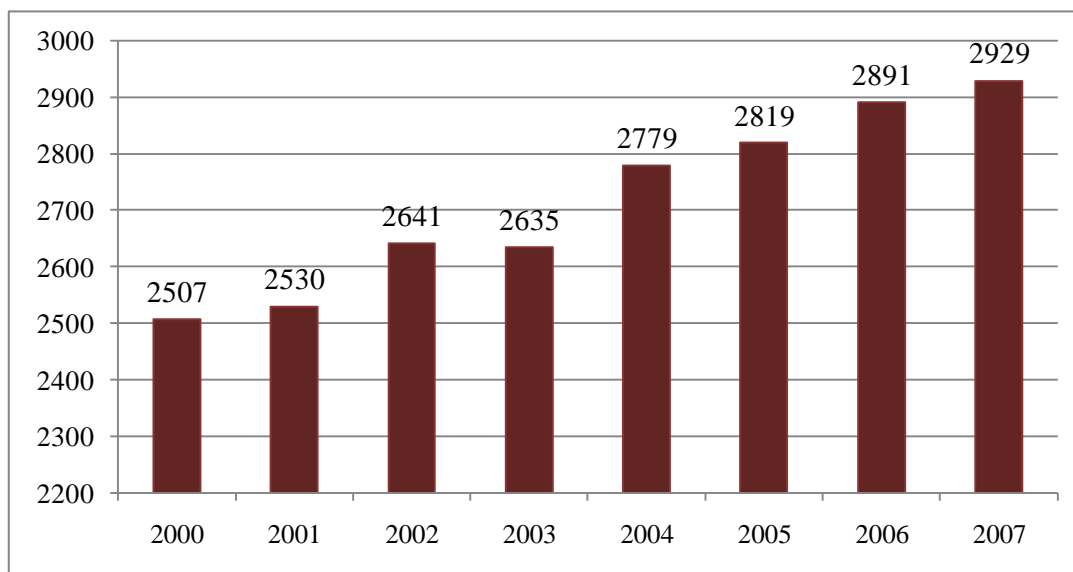


Grafico 1.25: Produzione di RU in Emilia Romagna (1000*t/anno), 2003 – 2007 (Fonte dati ISPRA)

In accordo con i dati regionali, tra le province con i valori di produzione pro capite più elevati, superiori a 650 kg/abitante per anno, rientrano tutte quelle delle Toscana, ad eccezione di Arezzo, sei province su nove dell'Emilia Romagna (Rimini, Forlì, Reggio Emilia, Ravenna, Ferrara e Piacenza), due province della Liguria (Savona e Imperia), la provincia di Perugia e quella di Venezia. Per quanto riguarda le province con i valori di pro capite più bassi, si rileva che tra queste rientrano, nell'anno 2007, diverse province del sud Italia. I valori di produzione pro capite in Emilia Romagna vengono riportati in Tabella 1.9.

Provincia	Popolazione	Produzione Totale RU	Pro capite
		<i>t</i>	<i>kg/abitante*anno</i>
Piacenza	281616	188421	669
Parma	425702	267403	628
Reggio Emilia	510124	389392	763
Modena	677672	423817	625
Bologna	964074	562043	583
Ferrara	355809	255319	718
Ravenna	379468	288737	761
Forlì	383043	292581	764
Rimini	298294	262066	879
Emilia Romagna	4275802	2929779	685

Tabella 1.9: Produzione pro-capite RU in Emilia Romagna (1000*t/anno), anno 2007 (Fonte dati ISPRA)



Figura 1.2: Produzione pro capite dei rifiuti urbani per regione (kg/abitante per anno), anno 2007
(Fonte dati ISPRA)

1.3.1.2 Raccolta differenziata

Nel 2007, le regioni Trentino Alto Adige e Veneto fanno rilevare percentuali di raccolta differenziata superiori al 50%: oltre la metà del rifiuto urbano prodotto sul territorio di queste due regioni viene, quindi, raccolto in maniera separata (Tabella 1.10, Grafico 1.26). In generale, tutte le regioni del nord Italia, fatta eccezione per la Liguria, si attestano ben al di sopra del 35% di raccolta differenziata. Si segnalano i progressi della Valle d'Aosta, la cui percentuale di raccolta passa dal 31.3% del 2006 al 36.1% del 2007. Al Centro, oltre alla soglia del 30% si colloca la Toscana, con un tasso di raccolta differenziata pari al 31,3% circa. Al sud Italia, la Sardegna fa rilevare un tasso di raccolta differenziata pari al 27.8%.

Regione/Anno	2003	2004	2005	2006	2007	Differenza % RD 2006-2007
	%					
Piemonte	28	32.8	37.2	40.8	44.8	4
Valle d'Aosta	23.5	25.6	28.4	31.3	36.1	4.8
Lombardia	39.9	40.9	42.5	43.6	44.5	0.9
Trentino Alto Adige	33.4	37.8	44.2	49.1	53.4	4.3
Veneto	42.1	43.9	47.7	48.7	51.4	2.7
Friuli Venezia Giulia	26.8	25.8	30.4	33.3	37.7	4.4
Liguria	14.7	16.6	15.7	16.7	19	2.3
Emilia Romagna	28.1	29.7	31.4	33.4	37	3.6
NORD	33.5	35.5	37.9	39.9	42.4	2.5
Toscana	28.8	30.9	30.7	30.9	31.3	0.4
Umbria	18	20.2	21.5	24.5	25	0.5
Marche	14.9	16.2	17.6	19.5	21	1.5
Lazio	8.1	8.6	10.4	11.1	12.1	1
CENTRO	17.1	18.3	19.2	20	20.8	0.8
Abruzzo	11.3	14.1	15.6	16.9	18.6	1.7
Molise	3.7	3.6	5.2	5	4.8	-0.2
Campania	8.1	10.6	10.6	11.3	13.5	2.2
Puglia	7.2	7.3	8.2	8.8	8.9	0.1
Basilicata	6	5.7	6.5	7.8	8.1	0.3
Calabria	8.7	9	8.6	8	9.1	1.1
Sicilia	4.4	5.4	5.7	6.6	6.1	-0.5
Sardegna	3.8	5.3	9.9	19.8	27.8	8
SUD	6.7	8.1	8.8	10.2	11.6	1.4
Italia	21.1	22.7	24.2	25.8	27.5	1.7

Tabella 1.10: Percentuali di raccolta differenziata dei rifiuti urbani per regione, anni 2003-2007
(Fonte dati ISPRA)



Figura 1.3: Percentuali di raccolta differenziata dei rifiuti urbani per regione (%), anno 2007
(Fonte dati ISPRA)

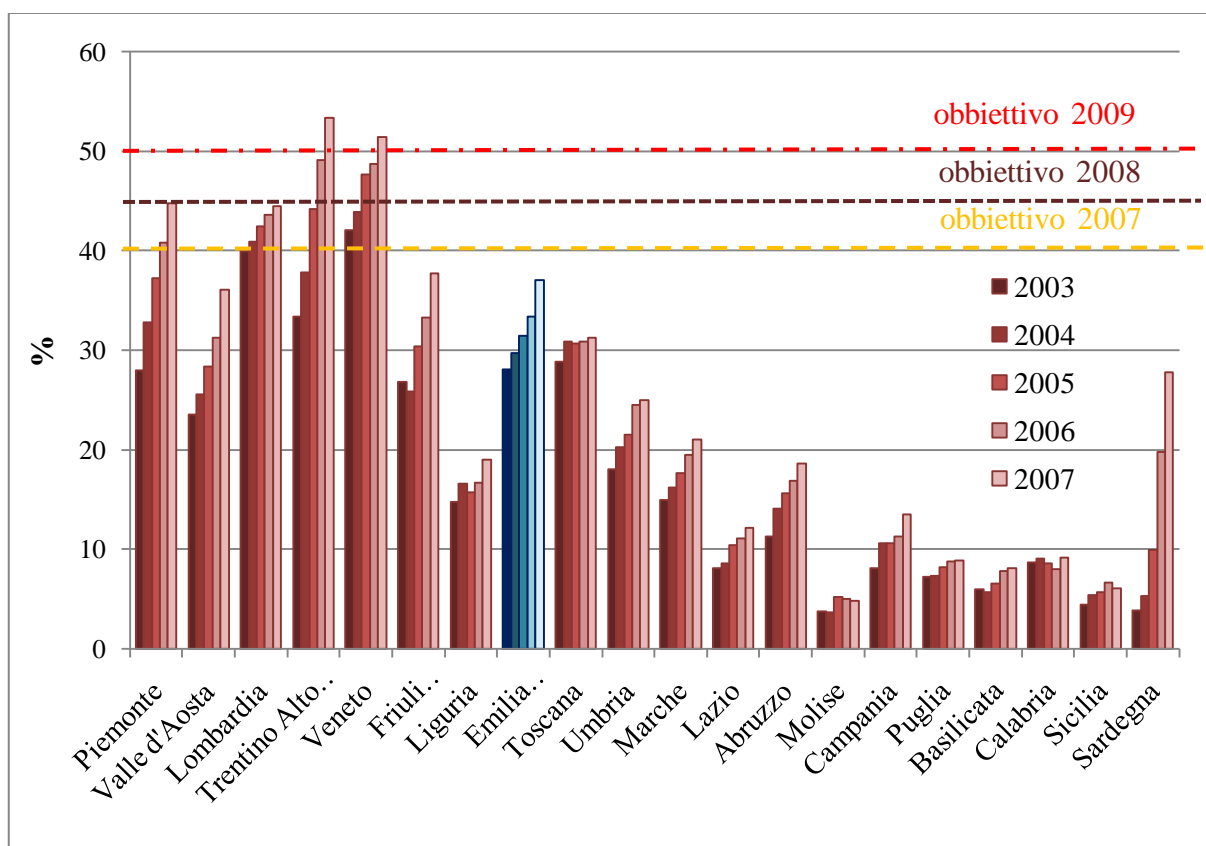


Grafico 1.26: Percentuali di raccolta differenziata dei rifiuti urbani per regione, anni 2003-2007
(Fonte dati ISPRA)

I dati regionali di raccolta differenziata procapite evidenziano valori superiori rispetto alla media nazionale (150,3 kg/abitante per anno) per tutte le regioni del nord Italia, fatta eccezione per la Liguria, e per le regioni centrali Toscana e Umbria. In particolare un valore di poco inferiore a tale soglia si rileva per l'Emilia Romagna (248,7 kg/abitante per anno) (Tabella 1.11).

Regione	Fraz. Org.	Carta	Vetro	Plastica	Legno	Metalli	RA EE	Tessili	Altro	Tot. RD
Piemonte	72.8	75.8	30.8	14.9	21	6.5	1.7	1.4	5.8	230.9
Valle d'Aosta	36.5	64	42.6	18.9	33	18.8	2	0	1.3	217.1
Lombardia	78.8	59.7	36.5	14.6	16.2	8.5	2.8	2.7	7.7	227.7
Trentino A.A.	88.6	78.1	44.9	11.1	13	12.2	3.1	1.4	7.5	259.8
Veneto	109.6	54.1	40	12.9	9.9	12.5	3.1	1.9	8.6	252.5
Friuli V. G.	59.4	47	34	13	11.4	7.5	3.7	0.7	14.2	191
Liguria	17.7	37.8	22.2	5.3	15.7	6.4	2	1.3	7.2	115.6
Emilia R.	84.8	67.1	26.5	12.1	29.4	7.9	3.1	1.7	16.2	248.7
NORD	80	61.3	34	13.2	17.7	8.8	2.7	2	9.1	228.8

Tabella 1.11: Raccolta differenziata pro capite delle principali frazioni merceologiche su scala regionale, anno 2007 (Fonte dati ISPRA)

Toscana	64.8	79.5	19.5	9.4	23.2	12.9	3.2	1.9	3	217.5
Umbria	45.5	48.6	19	7.1	10.8	17.8	1.4	1.4	8.3	159.8
Marche	26.8	43.5	15.4	9.8	7.9	4.5	2.1	1	7.1	118.1
Lazio	9.9	40.7	9.9	2.7	2.2	1	0.5	0.3	5.7	72.9
CENTRO	32.2	53.9	14.3	6.1	10.2	6.5	1.6	1	5.2	131
Abruzzo	32.3	27.5	15.7	5	5.7	5	1.7	0.8	4.4	98.1
Molise	1.6	7.8	5.6	1.7	0.1	1.7	0.7	0.1	0.4	19.8
Campania	21.8	19.4	12.7	2.6	3.8	1.4	0.7	0.6	3.2	66.3
Puglia	2.8	25.4	8	4.6	0.1	1.3	1	0.4	3.1	46.9
Basilicata	0.4	15.4	9.4	2.8	0.8	1.6	1.4	0.4	1.4	33.6
Calabria	10.7	15.9	8.4	1.7	0.7	4.6	0.5	0.2	0.2	43
Sicilia	6	12.8	4.6	2.8	1.6	1.3	1.3	0.2	2.1	32.8
Sardegna	79.5	26.4	19.3	6.1	2.1	5.9	3	0.4	1.5	144.4
SUD	17.6	19.4	9.9	3.4	2.1	2.3	1.1	0.4	2.5	58.8
ITALIA	48.8	45.2	21.8	8.4	10.8	6.1	1.9	1.2	6.1	150.3

Tabella 1.11: seguito

Con riferimento all'Emilia Romagna, i valori di produzione e raccolta differenziata vengono riportati in Tabella 1.12.

Provincia	Popolazione	RD	Rifiuto indifferenziato	Ingombranti a smaltimento	Produzione Totale RU	% RD
						tonnellate
Piacenza	281616	70005	114416	0	184421	38.0
Parma	425702	110495	144221	5688	260403	42.4
Reggio Emilia	510124	180549	199843	0	380392	47.5
Modena	677672	153465	251318	16034	420817	36.5
Bologna	964074	153496	403674	1873	559043	27.5
Ferrara	355809	95718	147798	3803	247319	38.7
Ravenna	379468	114789	165948	0	280737	40.9
Forlì	383043	100733	180514	6333	287581	35.0
Rimini	298294	84257	168595	3214	256066	32.9
Emilia Romagna	4275802	1063507	1776327	36944	2876778	37.0

Tabella 1.12: Produzione e raccolta differenziata dei rifiuti urbani in Emilia Romagna, anno 2007
(Fonte dati ISPRA)

Per quanto riguarda il sistema impiantistico in Emilia Romagna, questo è in grado di soddisfare completamente il fabbisogno di smaltimento, rendendo autosufficiente il territorio regionale (pur con qualche disomogeneità a livello dei territori provinciali).

Il sistema impiantistico regionale attualmente è così composto:

- 29 discariche;
- 9 inceneritori (di cui 8 con recupero energetico);
- 1 impianto di produzione di combustibile da rifiuti (CDR);
- 20 impianti di compostaggio;
- 5 impianti di biostabilizzazione;
- 11 impianti di trattamento meccanico (di cui 4 con biostabilizzazione).

1.4 Situazione del sistema di compostaggio

1.4.1 Livello nazionale

A livello nazionale, dal censimento degli impianti di compostaggio da matrici selezionate, risultano operativi 220 impianti (17 impianti in meno rispetto all'anno 2006), su un totale di 276 impianti censiti. Relativamente alla localizzazione sul territorio nazionale, si nota una maggior concentrazione di impianti nelle regioni del Nord (66% degli impianti), laddove la raccolta differenziata della frazione organica (umido+verde) raggiunge livelli rilevanti. Nelle regioni del Centro e del Sud, la distribuzione percentuale degli impianti risulta pari, rispettivamente, al 18% e al 16%. La Tabella 1.13 riporta, nel dettaglio regionale, le quantità e le tipologie dei rifiuti trattati negli impianti di compostaggio.

Regione	N° Impianti	Potenzialità autorizzata [t/a]	Rifiuto Trattato	Tipologia di rifiuto trattato [t/a]			
				Fraz. Org. Selezionata	Verde	Fanghi	Altro
Valle d'Aosta	2	50	5176	0	5176	0	0
Piemonte	38	565223	339354	101814	147952	68465	21123
Lombardia	71	938917	648140	261521	350961	18260	17398
Trentino Alto Adige	11	66850	53061	28660	17425	1256	5720
Veneto	17	831080	729501	361707	194663	135217	37914
Friuli Venezia Giulia	15	180250	39224	10022	29019	0	183
Liguria	6	29140	14101	2632	10185	253	1031
Emilia Romagna	21	591045	359408	138679	137601	16813	66314
NORD	181	3202555	2187964	905036	892982	240263	149683
Toscana	22	647340	253289	131412	68581	7912	45385
Umbria	4	266000	98353	18488	15284	26155	38426
Marche	7	140300	70409	19156	18404	21394	11455
Lazio	17	334325	126182	24899	51643	45116	4523
CENTRO	50	1387965	548232	193955	153911	100576	99789
Abruzzo	4	190550	60714	31629	1721	19553	7811
Molise	1	12400	1015	440	13	518	44
Campania	10	166100	29391	6649	3673	10388	8681
Puglia	9	562000	135309	10623	24795	74299	25592
Calabria	8	411200	38077	23245	3205	7195	4433
Sicilia	7	310900	134379	70997	7570	45407	10405
Sardegna	6	112900	45621	28735	9019	230	7638
SUD	45	1766050	444508	172319	49995	157590	64604
Italia	276	6356570	3180703	1271310	1096889	498429	314075

Tabella 1.13: Compostaggio di rifiuti da matrici selezionate, per regione, anno 2007 (Fonte dati ISPRA)

I quantitativi dei rifiuti complessivamente gestiti negli impianti di compostaggio, nel periodo dal 1993 al 2007, con riferimento alla sola frazione dei rifiuti urbani proveniente da raccolta differenziata, sono analizzati nel Grafico 1.27. Il grafico mostra come a fronte di una lieve diminuzione, nell'anno 2007, dei quantitativi totali dei rifiuti gestiti (- 0.2%), la frazione organica dei rifiuti urbani, pari a circa 2.4 milioni di tonnellate, mostri, rispetto agli anni precedenti, un progressivo incremento (+ 4.8% rispetto al 2006).

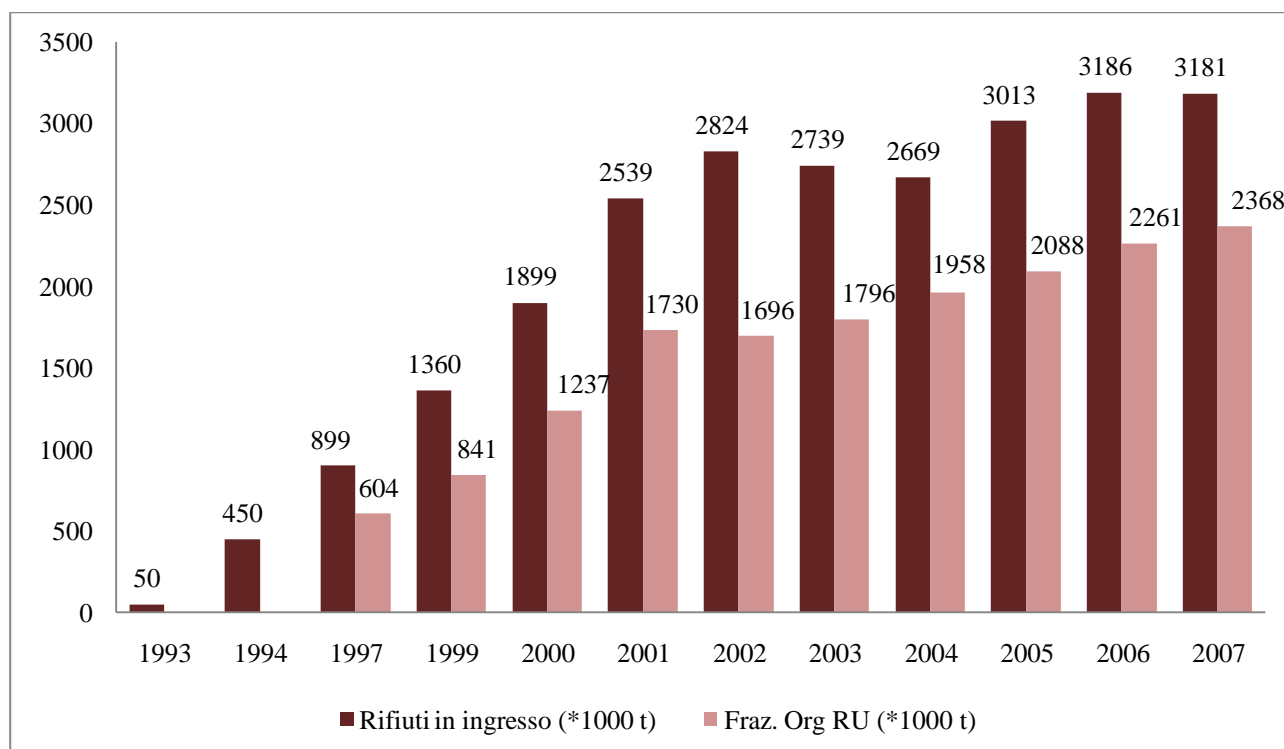


Grafico 1.27: Quantitativi dei rifiuti trattati in impianti di compostaggio per matrici
(Fonte dati ISPRA)

Il Grafico 1.28 analizza, con riferimento alle tre macroaree geografiche, le potenzialità e le quote della frazione organica da rifiuti urbani (rifiuti biodegradabili da cucine e mense e rifiuti biodegradabili da manutenzione del verde), e delle altre tipologie di rifiuti trattate negli impianti di compostaggio, nell'anno 2007. La frazione organica da rifiuti urbani gestita negli impianti localizzati nelle regioni del Nord, pari a circa 1,8 milioni di tonnellate, rappresenta, rispetto al totale dei rifiuti gestiti in tale area, una quota pari all'82%. Al Centro (347866 tonnellate), la percentuale è pari a circa il 64% mentre, al Sud (222314 tonnellate), risulta pari al 50%. In tale area, nell'anno 2006, la quota della frazione organica da rifiuti urbani, tonnellate, costituiva il 42% del totale dei rifiuti gestiti.

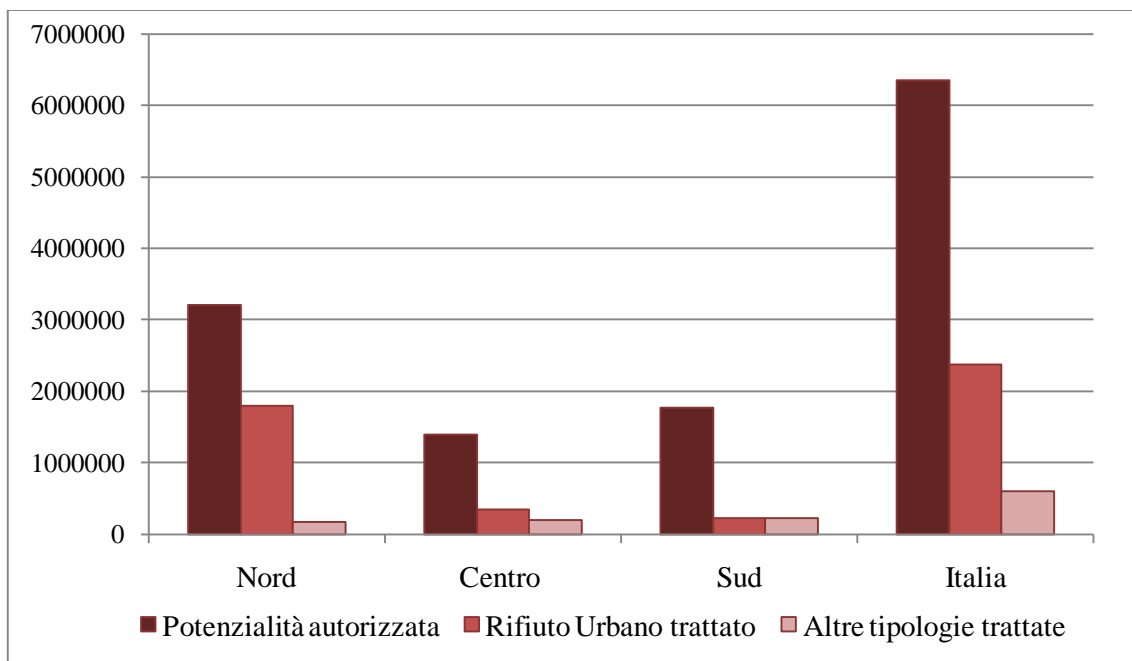


Grafico 1.28: Compostaggio di rifiuti da matrici selezionate, anno 2007 (Fonte dati ISPRA)

L'analisi della distribuzione percentuale delle diverse tipologie di rifiuti trattate negli impianti di compostaggio è riportata nel Grafico 1.29. Il quantitativo di rifiuti trattati è costituito per il 40% da frazione organica selezionata e per il 34% da verde, derivanti da raccolta differenziata. I fanghi rappresentano il 16%; gli altri rifiuti, prevalentemente di origine agro industriale, costituiscono, infine, una frazione pari al 10%.

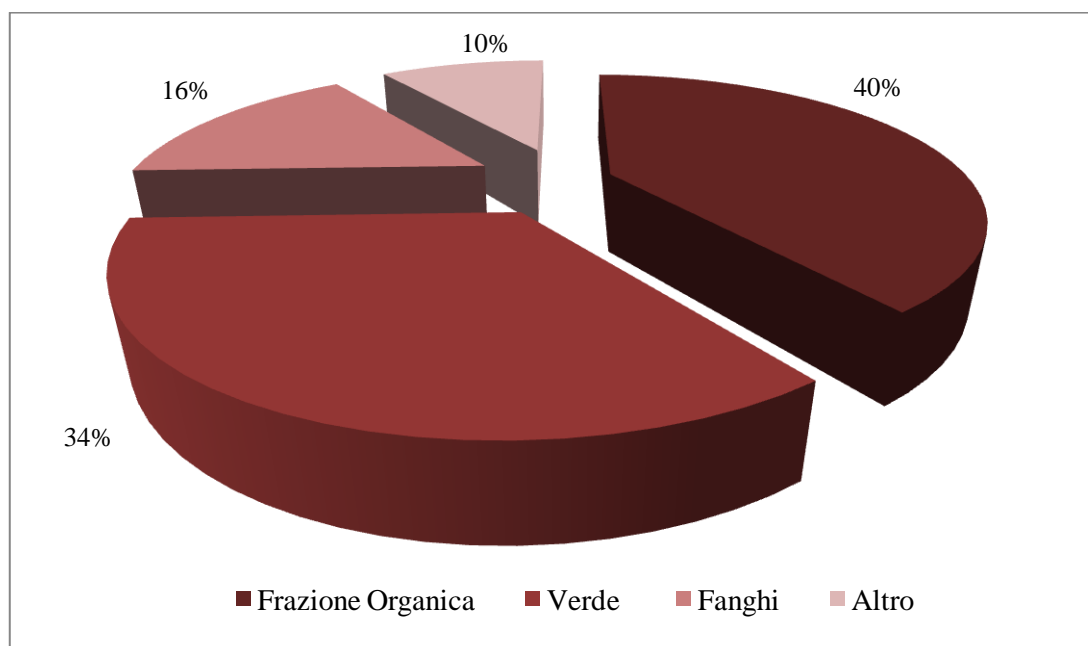


Grafico 1.29: Le tipologie di rifiuti trattati in impianti di compostaggio, anno 2007 (Fonte dati ISPRA)

Il Grafico 1.30 riporta la progressione dei quantitativi delle diverse frazioni di rifiuti gestite negli impianti di compostaggio; l'analisi dei dati evidenzia, nell'ultimo quinquennio, un costante

incremento dei quantitativi della frazione organica. Il quantitativo in ingresso agli impianti pari, nell'ultimo anno, a circa 13 milioni di tonnellate, denota un aumento, rispetto all'anno 2006, del 7.4%. Anche relativamente al verde si riscontra un trend di crescita dell'19%; le altre frazioni, costituite da fanghi ed altri rifiuti provenienti dal comparto agro industriale, mostrano, invece, rispetto all'anno 2006, decrementi pari rispettivamente, al 7% ed al 19.2%.

I dati relativi alla frazione dei rifiuti urbani gestiti negli impianti di compostaggio, nelle tre macroaree geografiche, sono riportati nel Grafico 1.31. Il grafico mette in evidenza come la quota di rifiuti urbani da raccolta differenziata (umido + verde) risulti in costante aumento non solo nelle regioni del Nord ma, anche, in quelle del Centro e del Sud, nonostante i più bassi livelli di raccolta differenziata. L'analisi dei dati relativi alle tre aree del Paese fa rilevare come nelle regioni del Sud venga gestito il 9.4% del totale trattato a livello nazionale. Per quanto riguarda, invece, il Nord, il quantitativo trattato negli impianti di compostaggio corrisponde al 75.9% del totale trattato a livello nazionale; mentre al Centro, le quantità trattate rappresentano il 14.7% del totale dei rifiuti organici avviati a compostaggio in Italia.

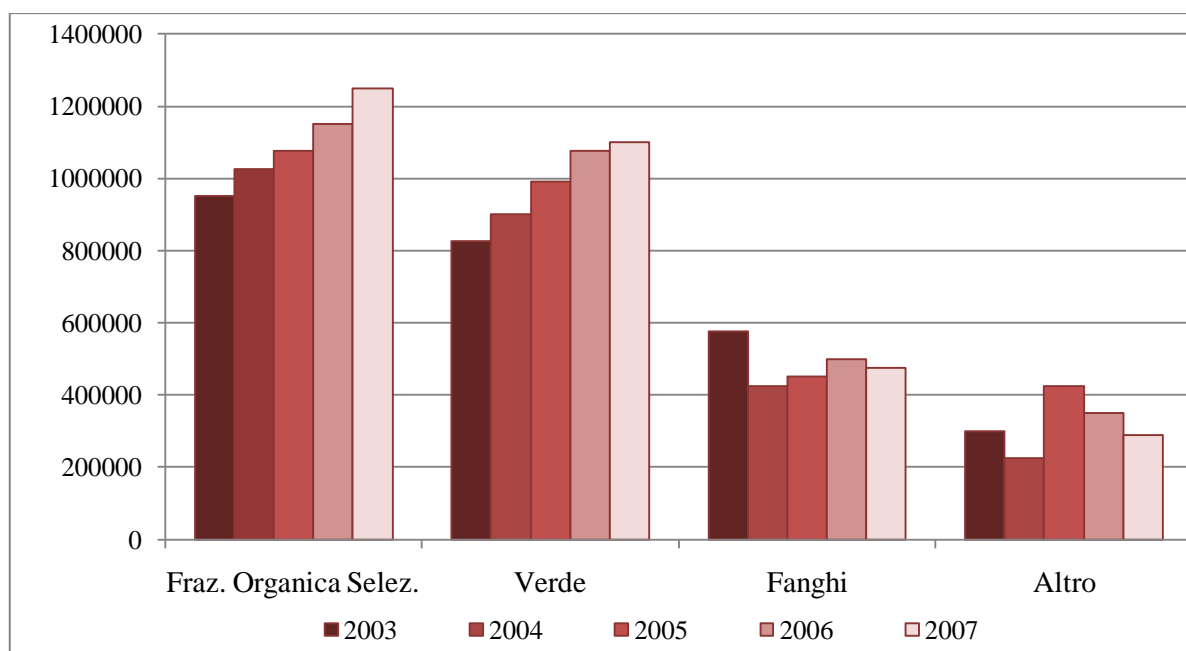


Grafico 1.30: Le frazioni dei rifiuti trattati in impianti di compostaggio da matrici selezionate, anni 2003-2007 (Fonte dati ISPRA)

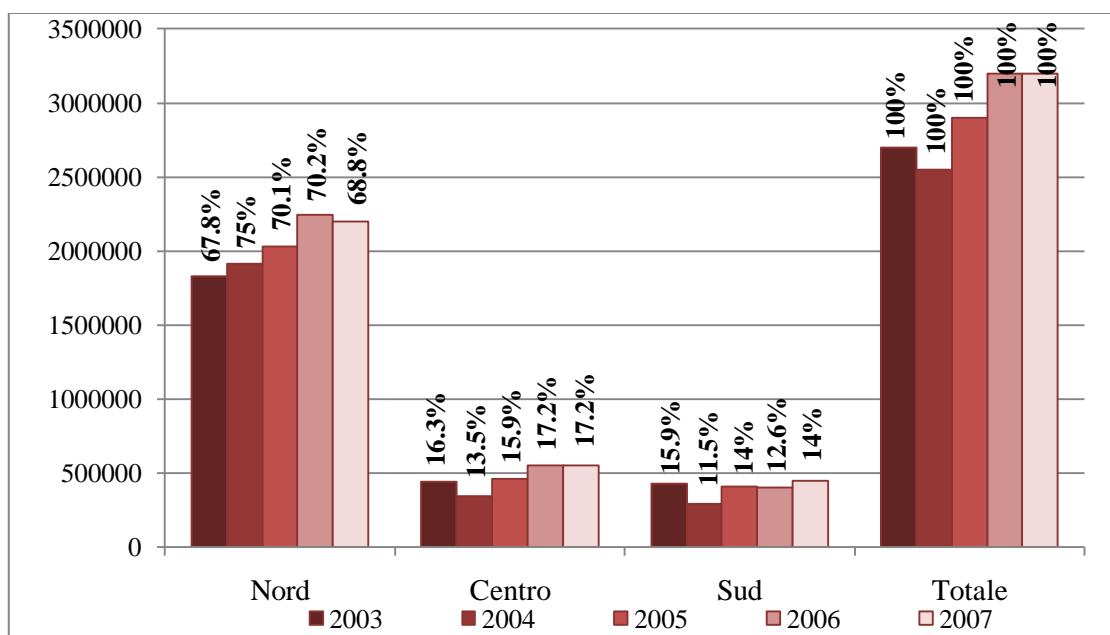


Grafico 1.31: Compostaggio dei rifiuti organici, per macro area geografica, anni 2003 – 2007
(Fonte dati ISPRA)

Il Grafico 1.32 che analizza, nel dettaglio regionale, i quantitativi dei rifiuti in ingresso agli impianti di compostaggio e le rispettive potenzialità, mette in evidenza come molte regioni siano dotate di una capacità impiantistica tale da consentire il trattamento di ingenti flussi di rifiuti differenziati.

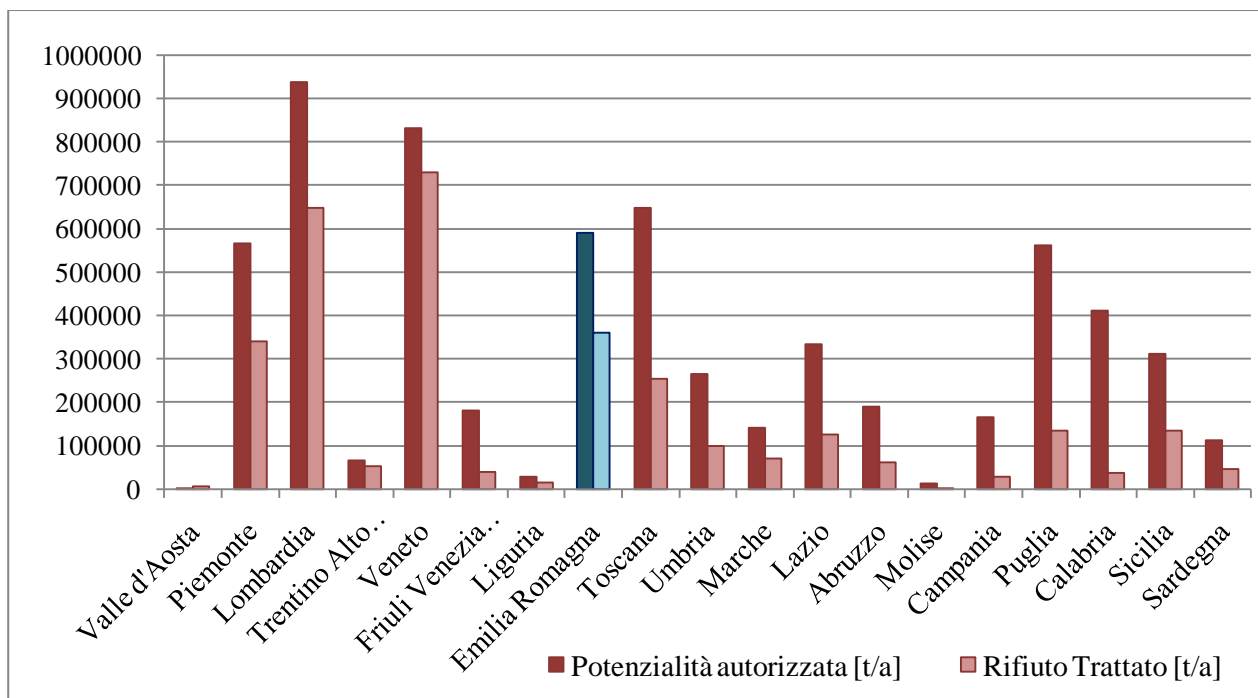


Grafico 1.32: Compostaggio dei rifiuti da matrici selezionate, per Regione, anno 2007
(Fonte dati ISPRA)

Questa analisi mostra la necessità di incentivare la raccolta differenziata, soprattutto in alcuni contesti territoriali del Centro e del Sud del Paese, dove si registrano, ancora, considerevoli ritardi. Per quanto riguarda le regioni del Nord del Paese, invece, dove la raccolta differenziata raggiunge

livelli ottimali, il compostaggio rappresenta una tecnica di gestione dei rifiuti differenziati ormai consolidata ed in continuo progresso.

In particolare in Emilia Romagna, dove i rifiuti trattati, ammontano a 359408 tonnellate (pari all'11.3% del totale nazionale) si registra un incremento dell'1.8%, rispetto il 2006.

L'analisi dei dati relativi alla potenzialità degli impianti di compostaggio (Grafico 1.33) evidenzia come la capacità impiantistica risulti in graduale evoluzione: sono 14 gli impianti in corso di realizzazione, 9 dei quali localizzati nelle regioni del Centro, 3 nel Sud e 2 nel Nord, per una potenzialità complessiva di 289200 tonnellate. Nell'anno 2007 la potenzialità totale degli impianti presenti sul territorio nazionale ammonta a circa 6.4 milioni di tonnellate, con un incremento, rispetto all'anno 2006, del 7.7%. L'evoluzione delle potenzialità interessa, in particolare, gli impianti localizzati nelle regioni del Centro (+ 14.8%) e del Sud (+12,7%). Nelle regioni del Nord l'incremento, rispetto all'anno 2006, risulta pari al 2.5%.

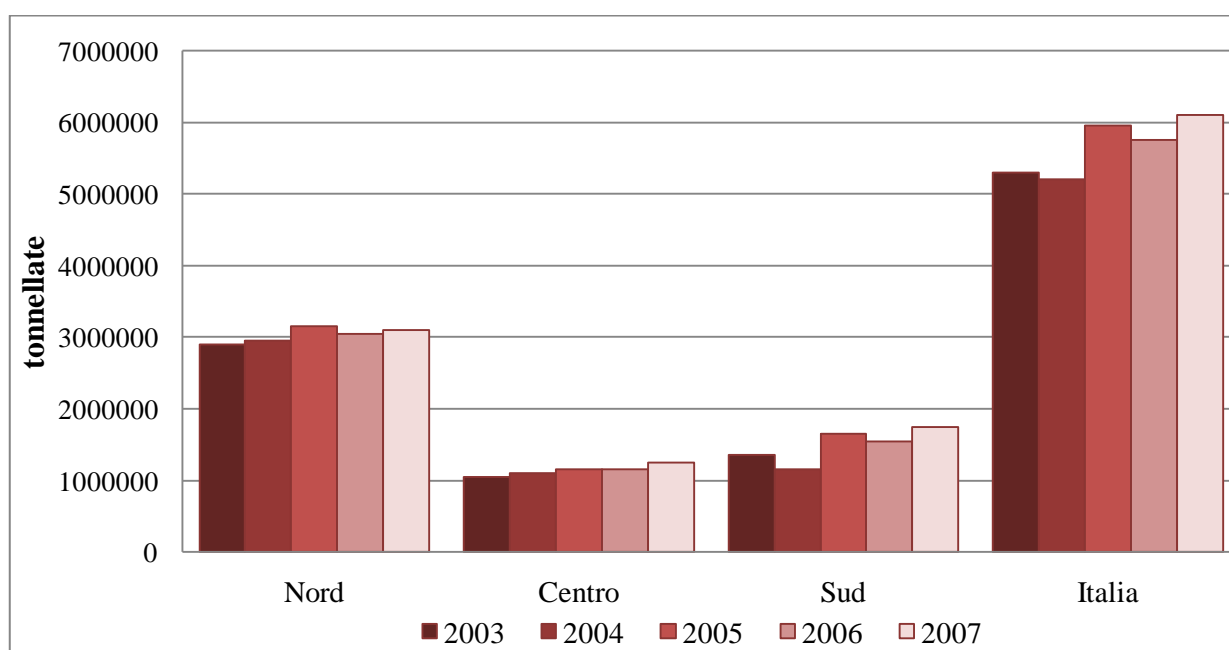


Grafico 1.33: Potenzialità degli impianti di compostaggio, per macroarea geografica, anni 2003-2007
(Fonte dati ISPRA)

Il Grafico 1.34 mostra i quantitativi dei materiali in uscita dagli impianti di compostaggio. Il compost di qualità prodotto a livello nazionale ammonta a circa 13 milioni di tonnellate e costituisce il 40% del totale dei rifiuti in ingresso agli impianti. Coerentemente con la distribuzione degli impianti sul territorio nazionale, e con le rispettive quantità di rifiuti trattate, il compost prodotto nelle regioni del Nord, che ammonta a 836916 tonnellate, costituisce il 65.2% del totale nazionale. Nelle regioni del Centro (286199 tonnellate) e del Sud (160372 tonnellate), tale percentuale è pari, rispettivamente, al 22.3% ed al 12.5%.

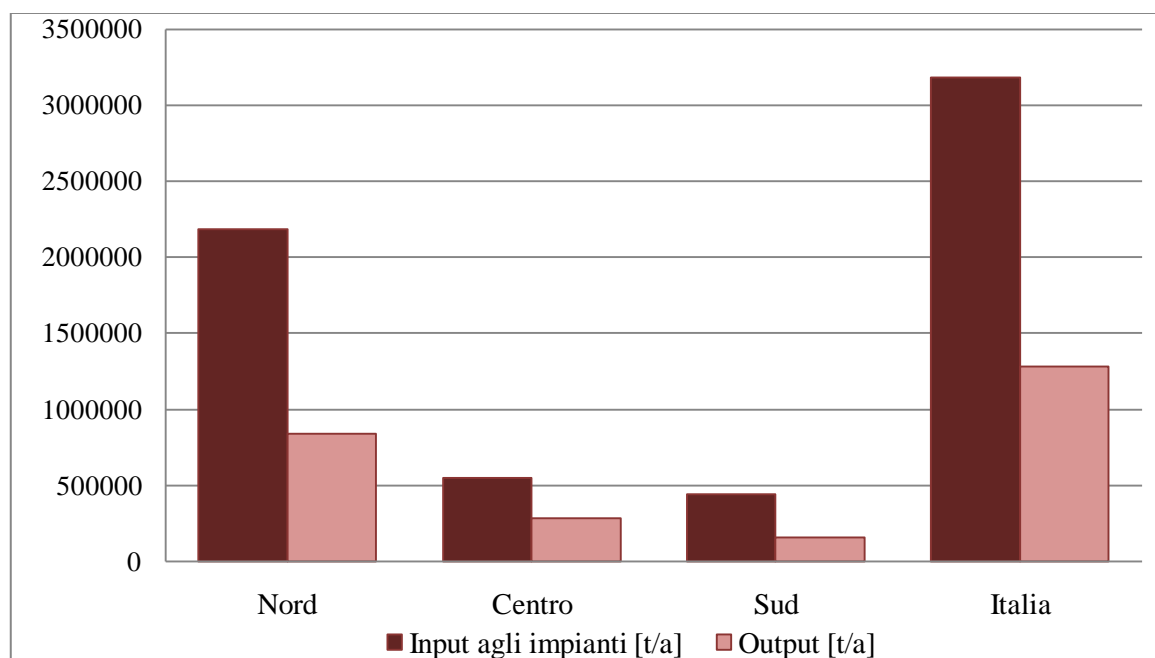


Grafico 1.34: Quantitativo dei prodotti in uscita dagli impianti di compostaggio da matrici selezionate, anno 2007 (Fonte dati ISPRA)

Gli ammendati prodotti nel corso dell'anno 2007 (Grafico 1.35) sono costituiti, prevalentemente, da ammendante compostato misto (circa 780.000 tonnellate, pari al 60,8% del prodotti complessivi) e da ammendante compostato verde (circa 196.000 tonnellate, pari al 15,3%). Altri prodotti, quali cimasse vegetali e verde triturato costituiscono il 3% dei prodotti in uscita dagli impianti di compostaggio mentre, gli scarti rappresentano circa il 21%.

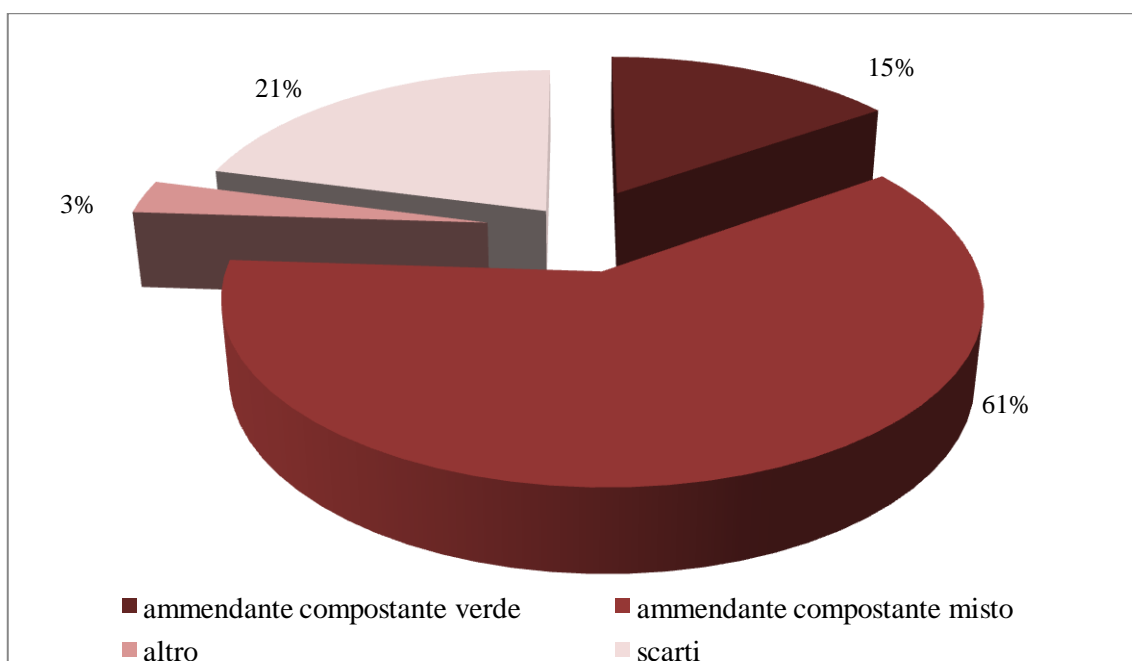


Grafico 1.35: Le tipologie dei prodotti in uscita dagli impianti di compostaggio da matrici selezionate, anno 2007 (Fonte dati ISPRA)

1.4.2 Livello regionale (Emilia Romagna)

Facendo riferimento alla regione Emilia Romagna si riportano in Tabella 1.14, per provincia, gli impianti di compostaggio presenti nel territorio, le quantità di rifiuti trattati e le quantità e il tipo di prodotti in uscita.

Prov incia	Comune	Potenzi alità	Rifiuto trattato	Tipologia di rifiuto trattato			Quantità dei prodotti in uscita				
				Fraz. Org. Selez.	Verde	Fanghi	altro	Acv	Acm	scarti	tot. Output
BO	Ozzano	20000	19938	-	19905	-	33	6088	-	208	6296
BO	S.Agata Bolognes e	60000	47830	31664	11748	-	4418	-	6400	1016	7416
BO	S.Pietro in Casale	24000	14007	113	1580	5183	7131	-	5541	-	5541
BO	Minerbio	980	nd	-	-	-	-	-	-	-	-
BO	Bologna	980	nd	-	-	-	-	-	-	-	-
FE	Ostellato	28000	20869	15928	4924	-	17	-	1761	4380	6141
FE	Bondeno	30000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FC	Cesena	15000	13195	10608	2029	-	558	-	1846	2410	4256
FC	Cesenati co	29500	17556	6111	957	-	10489	-	10300	6337	16637
MO	Carpi	75000	53579	34183	11381	-	8016	-	16226	10423	26640
MO	Nonantol a	20000	20919	6411	5777	8603	99	-	10745	4725	15470
PC	Sarmato	85000	3852	-	2593	1259	-	-	11648	-	11648
PR	Parma	18000	16783	1193	4335	-	511	-	10073	1488	11562
RA	Faenza	44000	28272	-	12876	1737	13658	-	7000	8500	15500
RA	Lugo	45000	39868	10565	9682	-	19621	-	3195	6165	18604
RE	Reggio Emilia	50000	36234	-	36234	-	-	4803	-	-	4803
RE	Sant'Illari o d'Enza	990	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RN	Coriano	4825	128	1	18	30	79	-	74	-	74
RN	Rimini	35000	22815	11130	10000	-	1685	-	2198	7683	9881
Tot.	-	591045	359408	138679	137601	16813	66314	13102	86997	53336	16267 9

Tabella 1.14: Impianti presenti in regione, potenzialità, tipologia di rifiuto trattato, quantità dei prodotti in uscita, anno 2007 (Fonte dati ISPRA)

2 Normativa di settore

Il compostaggio controllato rappresenta una forma di gestione dei rifiuti che ha impatti verso diverse componenti socio-ambientali ed è pertanto regolato da normative, che verranno di seguito esaminate. Tale tecnica di trattamento riveste oggi un ruolo importante nell'ambito non solo delle strategie di gestione dei rifiuti, ma anche della salvaguardia dell'ambiente ed in particolare dei suoli. A monte di tale processo è pertanto indispensabile lo sviluppo di una gestione dei rifiuti che miri al recupero di materia mediante il riutilizzo e il riciclaggio. In quest'ottica si è quindi sviluppata, negli anni, una strategia che prevede la gestione integrata dei rifiuti, definendo le azioni da intraprendere secondo un preciso ordine di priorità:

- prevenzione (riduzione della produzione di rifiuti e soprattutto della loro pericolosità);
- riutilizzo;
- riciclaggio;
- recupero di materia;
- recupero di energia;
- smaltimento finale in discarica.

Il raggiungimento degli obiettivi di raccolta differenziata e la riduzione dei Rifiuti Urbani Biodegradabili da avviare in discarica è possibile solo attivando la raccolta separata della frazione organica, raccolta funzionale alla filiera di compostaggio.

Per quanto riguarda i principali criteri riportati nelle varie legislazioni in materia di compostaggio, in generale essi possono essere sintetizzati in:

- definizione del compost e descrizione dei materiali accettati in ingresso;
- specificazione dei metodi di produzione;
- limiti di accettabilità del compost e restrizioni del suo impiego: vengono definite le caratteristiche del compost e le linee guida sul suo impiego in funzione della qualità dei suoli, del tipo di vegetale e delle condizioni climatiche. Vengono stabiliti i valori limiti da rispettare;

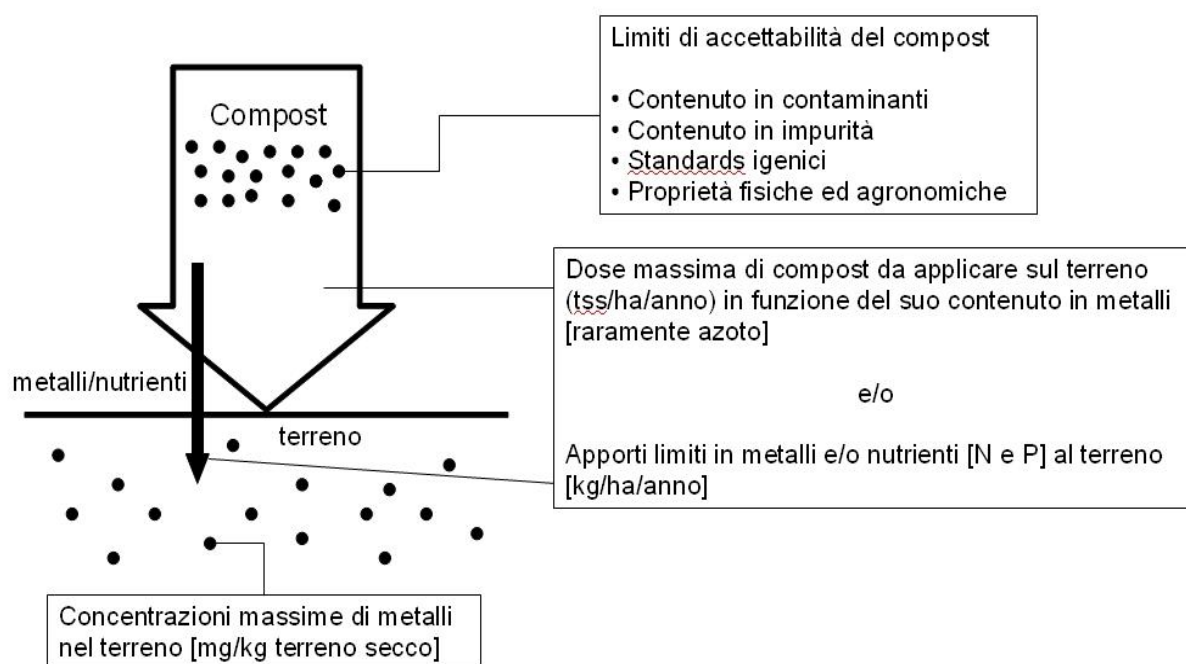


Figura 2.1: Limiti sull'uso del compost

- metodi analitici e di campionamento: descrizione dei metodi analitici e delle procedure di campionamento che devono essere utilizzate per determinare se i limiti stabiliti sono rispettati;
- procedure di controllo della qualità.

2.1 Normativa comunitaria di riferimento

Nell'ottica di una gestione integrata dei rifiuti, che miri al recupero di materia ed energia, si inserisce proprio la **Direttiva 99/31/CE sulle Discariche**, la quale stabilisce che in discarica debbano finire solo materiali a basso contenuto di carbonio organico e quelli non riciclabili. La Direttiva considera quindi compostaggio e riciclo come strategie primarie per la gestione dei rifiuti. L'art. 5 della Direttiva sancisce che, non oltre due anni dal recepimento della Direttiva stessa, gli Stati Membri debbano elaborare specifiche strategie, finalizzate alla riduzione dei rifiuti biodegradabili destinati allo smaltimento, secondo i seguenti step:

- riduzione del 25% entro il 2006
- riduzione del 50% entro il 2009
- riduzione del 65% entro il 2016.

Le modalità per il raggiungimento di questi obiettivi non vengono, però, individuate, ma viene lasciata ampia libertà agli Stati Membri nella scelta dei sistemi da utilizzare. Tra le misure da

adottare per attuare la riduzione dei rifiuti biodegradabili in discarica vengono quindi indicati: la raccolta differenziata dei rifiuti biodegradabili, il riciclaggio, il recupero di materia e di energia (tramite compostaggio e digestione anaerobica) e il trattamento dei rifiuti urbani residui (tramite il trattamento meccanico biologico e l'incenerimento). Il compostaggio gioca quindi un ruolo importante nel piano strategico comunitario finalizzato a una corretta gestione integrata dei rifiuti. All'interno del **VI Programma d'Azione Ambientale Comunitario del 24 gennaio 2001** si colloca poi la **Bozza di Direttiva sul Trattamento Biologico dei Rifiuti Biodegradabili**, che propone una regolamentazione completa delle attività di compostaggio. Questo documento costituisce il primo tentativo di definizione di una direttiva che regoli il settore del compostaggio dal momento che, a livello europeo, non esiste ancora una direttiva specifica a riguardo.

2.2 Normativa Nazionale

Il settore del compostaggio fa riferimento a due principali decreti legislativi:

- **D.Lgs. 152/06** noto come "*Testo Unico in materia Ambientale*" relativo alla gestione dei rifiuti;
- **D.Lgs. 217/06** "*Revisione della disciplina in materia di fertilizzanti*" relativo alla commercializzazione e all'utilizzo dei fertilizzanti;
- **D.Lgs. 36/2003** "*Attuazione della Direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti*"

e a un decreto ministeriale :

- **D.M. 5 febbraio 1998** "*Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli artt. 31 e 33 del D. Lgs 22/97*", modificato dal D.M. n. 186/2006.

Per quanto riguarda il *D.Lgs. 152/06*, modificato dal *D.Lgs 4/08*, questo interessa per diversi aspetti il settore degli ammendanti e del compost ed in particolare coordina la legislazione ambientale relativamente alle procedure per le autorizzazioni ambientali integrate (IPPC), alla difesa del suolo e alla lotta alla desertificazione, alla tutela delle acque e alla gestione delle risorse idriche e infine alla gestione dei rifiuti.

Il *D.Lgs 4/08* riporta poi ulteriori disposizioni correttive ed integrative al Testo Unico Ambientale. In particolare, all'art. 183, viene definita la nozione di compost di qualità come "prodotto, ottenuto dal compostaggio di rifiuti organici raccolti separatamente, che rispetti i requisiti e le caratteristiche stabilite dall'allegato 2 del Decreto Legislativo n. 217 del 2006 e successive modifiche e integrazioni".

Il *D.Lgs 217/06* (Revisione della disciplina in materia di fertilizzanti) ha invece abrogato la legge n. 748 del 1984 (Norme in materia di fertilizzanti) e la Deliberazione Comitato Interministeriale del 27

luglio 1984 e ha adeguato la normativa a quella comunitaria, in osservanza a quanto disposto dal Regolamento (CE) 2003/2003. Tale decreto legislativo definisce gli ammendanti come “materiali da aggiungere al suolo in situ, principalmente per conservarne o migliorarne le caratteristiche fisiche e/o l’attività biologica, i cui tipi e caratteristiche sono elencati nell’allegato 2” del nuovo decreto.

Nella fattispecie, la legislazione individua tra gli ammendanti i seguenti prodotti:

- ***Ammendante compostato verde*** (ACV): prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllato di rifiuti organici che possono essere costituiti da scarti della manutenzione del verde ornamentale, residui delle colture, altri rifiuti di origine vegetale con esclusione di alghe e altre piante marine;
- ***Ammendante compostato misto*** (ACM): prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllato 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 agro-industriali e da lavorazione del legno e del tessile naturale non trattati, da reflui e fanghi, nonché dalle matrici previste per l’ammendante compostato verde;
- ***Ammendante torboso compostato*** (ATC): prodotto ottenuto per miscela di torba con ammendante compostato e/o misto.

Solamente i primi due vengono considerati compost di qualità e sono impiegabili in agricoltura come sostituti di fertilizzanti chimici, con la funzione di migliorare la qualità del suolo, consentendo di conservarne nel lungo periodo la fertilità, il suo stato strutturale, la capacità di assorbire e rilasciare acqua e di trattenere gli elementi nutritivi in forma facilmente assimilabile da parte della pianta, promuovendo tutte le attività biologiche del suolo.

Le Tabella 2.1, Tabella 2.2 Tabella 2.3 che seguono riportano le caratteristiche del compost in base a quanto definito dall’allegato 2 del D.lgs. 217/2006.

Denominazione del Tipo	Ammendante compostato verde
Metodo di preparazione e componenti essenziali	Prodotto ottenuto attraverso processo di trasformazione e stabilizzazione controllata di rifiuti organici che possono essere costituiti da scarti di manutenzione del verde ornamentale, residui delle colture, altri rifiuti di origine vegetale con esclusione di alghe e altre piante marine.
Titolo minimo in elementi e/o sostanze utili. Criteri concernenti la valutazione. Altri requisiti richiesti	<ul style="list-style-type: none"> - Umidità: massimo 50% - pH compreso tra 6 e 8,5 - C organico sul secco: minimo 30% - C umico¹ e fulvico² sul secco: minimo 2,5 % - Azoto organico sul secco: almeno 80% dell'azoto totale - C/N massimo 50 - Rame totale sul secco: massimo 150 mg/kg - Zinco totale sul secco: massimo 500 mg/kg
Altre indicazioni concernenti la denominazione del tipo	
Elementi oppure sostanze utili il cui titolo deve essere dichiarato. Caratteristiche diverse da dichiarare. Altri requisiti richiesti	Umidità, pH, C organico sul secco, C umico e fulvico sul secco, Azoto organico sul secco, C/N, Rame totale sul secco, Zinco totale sul secco, Salinità
Note	<p>Il tenore di materiale plastico, eventualmente presente, del diametro fino a 3,33 mm non può superare 0,45% sulla sostanza secca.</p> <p>Il tenore di materiale plastico, eventualmente presente, del diametro maggiore di 3,33 mm e minore di 10 mm non può superare lo 0,05% sulla sostanza secca.</p> <p>Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro fino a 3,33 mm non può superare lo 0,9% sulla sostanza secca.</p> <p>Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro maggiore di 3,33 mm e minore di 10 mm non può superare lo 0,1% sulla sostanza secca.</p> <p>Materiali plastici ed inerti di diametro superiore a 10 mm devono essere assenti.</p> <p>Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Salmonella: assenti in 25 g di campione tal quale, dopo rivivificazione; - Enterobacteriacee totali: massimo 1,0 x 10² UFC per grammo; - Streptococchi fecali: massimo 1,0 x 10² (MPN x g); - Nematodi: assenti in 50 g sul tal quale; - Trematodi: assenti in 50 g sul tal quale; - Cestodi: assenti in 50 g sul tal quale

Tabella 2.1: Caratteristiche dell'ammendante compostato verde, riportate nell'allegato 2 del D.Lgs. 217/2006

¹ *Acidi umici*, frazione organica del terreno solubile in alcali (pH = 9) e insolubile in acidi (pH = 1);

² *Acidi fulvici*, frazione organica del terreno solubile in alcali (pH = 9) e in acidi (pH = 1).

Denominazione del Tipo	Ammendante compostato misto
Metodo di preparazione e componenti essenziali	Prodotto ottenuto attraverso processo di trasformazione e stabilizzazione controllato 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 dalla lavorazione del legno e del tessile naturale non trattato, da reflui e fanghi, nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato verde
Titolo minimo in elementi e/o sostanze utili. Criteri concernenti la valutazione. Altri requisiti richiesti	<ul style="list-style-type: none"> - Umidità: massimo 50% - pH compreso tra 6 e 8,5 - C organico: minimo 25% - C umico¹ e fulvico² sul secco: minimo 7 % - Azoto organico sul secco: almeno 80% dell'azoto totale - C/N massimo 25 - Rame totale sul secco: massimo 150 mg/kg - Zinco totale sul secco: massimo 500 mg/kg
Altre indicazioni concernenti la denominazione del tipo	
Elementi oppure sostanze utili il cui titolo deve essere dichiarato. Caratteristiche diverse da dichiarare. Altri requisiti richiesti	Umidità, pH, C organico sul secco, C umico e fulvico sul secco, Azoto organico sul secco, C/N, Rame totale sul secco, Zinco totale sul secco, Salinità
Note	<p>I fanghi, tranne quelli agroindustriali, non possono superare il 35% (P/P) della miscela iniziale.</p> <p>Il tenore di materiale plastico, eventualmente presente, del diametro fino a 3,33 mm non può essere superiore lo 0,45% sulla sostanza secca.</p> <p>Il tenore di materiale plastico, eventualmente presente, del diametro maggiore di 3,33 mm e minore di 10 mm non può superare lo 0,05% sulla sostanza secca.</p> <p>Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro fino a 3,33 mm non può superare lo 0,9% sulla sostanza secca.</p> <p>Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro maggiore di 3,33 mm e minore di 10 mm non può superare lo 0,1% sulla sostanza secca.</p> <p>Materiali plastici ed inerti di diametro superiore a 10 mm devono essere assenti.</p> <p>Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Salmonella: assenti in 25 g di campione tal quale; - Enterobacteriacee totali: massimo 1,0 x 10² UFC per grammo; - Streptococchi fecali: massimo 1,0 x 10³ (MPN x g); - Nematodi: assenti in 50 g sul tal quale; - Trematodi: assenti in 50 g sul tal quale; - Cestodi: assenti in 50 g sul tal quale.

Tabella 2.2: Caratteristiche dell'ammendante compostato misto, riportate nell'allegato 2 del D.Lgs. 217/2006

Denominazione del Tipo	Ammendante torboso composto
Metodo di preparazione e componenti essenziali	Prodotto ottenuto per miscela di torba con ammendante compostato verde e/o misto
Titolo minimo in elementi e/o sostanze utili. Criteri concernenti la valutazione. Altri requisiti richiesti	<ul style="list-style-type: none"> - C organico sul secco: minimo 35% - C umico¹ e fulvico² sul secco: minimo 7 % - Azoto organico sul secco: almeno 80% dell'azoto totale - C/N massimo 50 - Rame totale sul secco: massimo 150 mg/kg - Zinco totale sul secco: massimo 500 mg/kg - Torba: minimo 50%
Altre indicazioni concernenti la denominazione del tipo	
Elementi oppure sostanze utili il cui titolo deve essere dichiarato. Caratteristiche diverse da dichiarare. Altri requisiti richiesti	C organico sul secco, C umico e fulvico sul secco, Azoto organico sul secco, C/N, Rame totale sul secco, Zinco totale sul secco, Torba, Salinità
Note	<p>Il tenore di materiale plastico, eventualmente presente, del diametro fino a 3,33 mm non può essere superiore lo 0,45% sulla sostanza secca. Il tenore di materiale plastico, eventualmente presente, del diametro maggiore di 3,33 mm e minore di 10 mm non può superare lo 0,05% sulla sostanza secca.</p> <p>Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro fino a 3,33 mm non può superare lo 0,9% sulla sostanza secca. Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro maggiore di 3,33 mm e minore di 10 mm non può superare lo 0,1% sulla sostanza secca.</p> <p>Materiali plastici ed inerti di diametro superiore a 10 mm devono essere assenti.</p> <p>Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Salmonella: assenti in 25 g di campione tal quale; - Enterobacteriacee totali: massimo 1,0 x 10² UFC per grammo; - Streptococchi fecali: massimo 1,0 x 10³ (MPN x g); - Nematodi: assenti in 50 g sul tal quale; - Trematodi: assenti in 50 g sul tal quale; - Cestodi: assenti in 50 g sul tal quale.

Tabella 2.3: Caratteristiche dell'ammendante torboso composto, riportate nell'allegato 2 del D.Lgs. 217/2006

L'allegato 2 stabilisce inoltre i tenori massimi in metalli pesanti consentiti, espressi in mg/kg e riferiti alla sostanza secca, riportati nella Tabella 2.4.

METALLI	VALORE LIMITE mm/kg s.s.
Piombo totale	< 140
Cadmio totale	< 1,5
Nichel totale	< 100
Zinco totale	< 500
Rame totale	< 150
Mercurio totale	< 1,5
Cromo esavalente totale	< 0,5

Tabella 2.4: Limiti massimi consentiti in metalli pesanti riportati nell'allegato 2 del D.Lgs. 217/2006

Per quanto riguarda il *D.Lgs. 36/2003*, l'obiettivo principale è quello di assicurare norme adeguate in materia di smaltimento dei rifiuti introducendo misure, procedure, requisiti tecnici per gli impianti di discarica e modalità di gestione finalizzati a ridurre effetti negativi sull'ambiente e sulla salute umana. Il Decreto, in particolare, fissa le caratteristiche generali che i rifiuti devono possedere per essere ammessi in discarica ed indica le tipologie di rifiuti che non potranno più essere conferite in discarica. Riguardo ai rifiuti urbani ed in particolare alla frazione biodegradabile degli stessi, il *D.Lgs.36/2003* stabilisce che i rifiuti biodegradabili sono costituiti da *“qualsiasi rifiuto che per natura subisce processi di decomposizione aerobica o anaerobica, quali, ad esempio, rifiuti di alimenti, rifiuti dei giardini, rifiuti di carta e cartone”* e fissa specifici obiettivi per una progressiva riduzione del conferimento dei rifiuti biodegradabili in discarica. L'art. 5 dispone infatti che entro un anno dalla data di entrata in vigore del decreto (27 marzo 2003) ciascuna Regione elabori ed approvi un apposito programma per la riduzione dei rifiuti biodegradabili da collocare in discarica ad integrazione del piano regionale di gestione dei rifiuti, allo scopo di raggiungere i seguenti obiettivi:

- entro il 31.03.2008 i rifiuti urbani biodegradabili devono essere inferiori a *173 kg/anno per abitante*;
- entro il 31.03.2011 i rifiuti urbani biodegradabili devono essere inferiori a *115 kg/anno per abitante*;
- entro il 31.03.2018 i rifiuti urbani biodegradabili devono essere inferiori a *81 kg/anno per abitante*.

Stabilisce infine che il programma per la riduzione dei RUB da collocare in discarica ed i relativi stati annuali di attuazione, siano trasmessi al Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio, che provvederà a darne comunicazione alla Commissione Europea.

Il *D.M. 5 febbraio 1998* “Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero, ai sensi degli artt. 31 e 33 del D. Lgs. 22/97”, riporta i seguenti punti:

- *Tipologie di rifiuti compostabili per la produzione di compost di qualità*, i quali sono costituiti da
 - a) frazione organica dei rifiuti solidi urbani raccolta separatamente;
 - b) rifiuti vegetali di coltivazioni agricole;
 - c) segatura, trucioli, frammenti di legno, di sughero;
 - d) rifiuti vegetali derivanti da attività agro-industriali;
 - e) rifiuti tessili di origine vegetale (cascami e scarti di cotone, cascami e scarti di lino, cascami e scarti di iuta, cascami e scarti di canapa);
 - f) rifiuti tessili di origine animale cascami e scarti di lana, cascami e scarti di seta;
 - g) deiezioni animali da sole o in miscela con materiale di lettiera o frazioni della stessa ottenute attraverso processi di separazione;
 - h) scarti di legno non impregnato;
 - i) carta e cartone nelle forme usualmente commercializzate;
 - j) fibra e fanghi di carta
 - k) rifiuti ligneo cellullosici derivanti dalla manutenzione del verde ornamentale;
 - l) fanghi di depurazione, fanghi di depurazione delle industrie alimentari.
- *Provenienza dei rifiuti*: i rifiuti di cui al punto precedente, devono derivare rispettivamente da:
 - a) frazione umida derivante da raccolta differenziata di RSU;
 - b) coltivazione e raccolta dei prodotti agricoli
 - c) attività forestali e lavorazione del legno vergine;
 - d) lavorazione dei prodotti agricoli;
 - e) preparazione, filatura, tessitura di fibre tessili vegetali ed animali;
 - f) allevamenti zootecnici e industria di trasformazione alimentare;
 - g) fabbricazione di manufatti di legno non impregnato, imballaggi; legno non impregnato (cassette, pallets);
 - h) industria della carta;
 - i) industria della macellazione;
 - j) manutenzione del verde ornamentale;

- k) impianti di depurazione, impianti di depurazione dell'industria alimentare;
 - l) impianti dedicati di combustione di sanse esauste e di scarti vegetali.
- *Caratteristiche del rifiuto*: i rifiuti devono avere rispettivamente le seguenti caratteristiche:
- a) il rifiuto deve essere costituito unicamente dalla frazione umida separata dalla raccolta degli RSU, esente da rifiuti pericolosi;
 - b) il rifiuto deve derivare dalle ordinarie pratiche agricole;
 - c) il rifiuto deve derivare dalle ordinarie pratiche forestali, da lavorazioni con trattamenti fisici o termici;
 - d) il rifiuto deve derivare da lavorazione con trattamenti fisici o termici senza impiego di sostanze denaturanti;
 - e) i rifiuti non devono essere trattati con coloranti o comunque con sostanze tossiche;
 - f) il rifiuto non deve provenire da lavorazioni che prevedono l' impiego di trattamenti chimici;
 - g) il rifiuto non deve essere costituito da carta e cartone per usi speciali trattata o spalmata con prodotti chimici diversi da quelli normalmente utilizzati nell'impasto cartaceo;
 - h) il rifiuto deve essere costituito unicamente dalla frazione ligno-cellulosica derivante dalla manutenzione del verde ornamentale, escluso il materiale proveniente dallo spazzamento delle strade;
 - i) i fanghi possono essere utilizzati in misura non superiore al 35% sulla sostanza secca nella preparazione della miscela di partenza. Tale percentuale può essere elevata al 50% per i fanghi derivanti da impianti di depurazione delle industrie alimentari.
- *Attività di recupero*: processo di trasformazione biologica aerobica delle matrici che evolve attraverso uno stadio termofilo e porta alla stabilizzazione ed umificazione della sostanza organica. Il processo deve essere condotto in modo da assicurare:
- a) il controllo dei rapporti di miscelazione e delle caratteristiche chimico fisiche delle matrici organiche di partenza;
 - b) il controllo della temperatura di processo;
 - c) un apporto di ossigeno sufficiente a mantenere le condizioni aerobiche della massa.

La durata del processo non deve essere inferiore a 90 giorni comprendenti una fase di bioossidazione accelerata, durante la quale viene assicurato un apporto di ossigeno alla massa mediante rivoltamento e/o aerazione, seguito da una fase di maturazione in cumulo. **La temperatura deve essere mantenuta per almeno tre giorni oltre i 55°C** (per garantire un

sufficiente grado di igienizzazione). La fase di stoccaggio delle matrici e la fase di bioossidazione accelerata devono avvenire in ambiente confinato, ottenibile anche con coperture o paratie mobili, per il contenimento di polveri e di odori il cui controllo deve essere garantito tramite idonee misure e sistemi di abbattimento. Tali disposizioni non sono obbligatorie per gli impianti che trattano unicamente le tipologie di rifiuti, di cui alle lettere b), c), g) e j) del primo punto. Tali impianti devono comunque assicurare il contenimento di polveri durante l'eventuale fase di triturazione. Le fasi di stoccaggio delle matrici, di bioossidazione accelerata, di post maturazione e di deposito del prodotto finito devono avvenire su superfici impermeabilizzate, dotate di sistemi di drenaggio e di raccolta delle acque reflue di processo, da inviare a depurazione o da riutilizzare nel ciclo di compostaggio.

Un aspetto che coniuga le esigenze del settore ambientale con quelle della commercializzazione dell'ammendante compostato, è quello del *Green Public Procurement (GPP)*, D.M. n.203 del 2003. Il **D.M. n.203 del 2003** individua le norme affinché le pubbliche amministrazioni e le società a prevalente capitale pubblico coprano il fabbisogno annuale di manufatti e beni con una quota di prodotti ottenuti da materiale riciclato in misura non inferiore al 30% del fabbisogno medesimo. Il D.M. definisce come “beni ottenuti con materiale riciclato”, quelli realizzati con prevalenza in peso di materiale riciclato. In questa categoria ricade appunto il compost.

La gestione ecologica degli acquisti pubblici (Green Public Procurement) è una delle componenti delle “politiche integrate di prodotto” che vuole orientare la produzione e il consumo della società verso scelte ambientali. In particolare la Pubblica Amministrazione, essendo tra i più grandi acquirenti in molti segmenti di mercato, attraverso una coordinata politica di acquisto, può contribuire in modo significativo al decollo del prodotto compost sul mercato. Il compost costituisce sicuramente un materiale innovativo nel vasto panorama dei fertilizzanti organici e, nonostante l'agricoltura tradizionale rappresenti il settore in cui prevale attualmente il suo impiego, è interessante notare come stia assumendo particolare rilievo anche in altri ambiti, in seguito ad una domanda sempre più attenta e specifica.

2.3 Normativa Regionale

A livello regionale particolarmente significativi nel quadro normativo sono:

- **Deliberazione della Giunta Regione Emilia Romagna n. 1996/2006** “*Regolamentazione dell'utilizzo del biostabilizzato ottenuto dalla stabilizzazione aerobica delle matrici organiche dei rifiuti*” ;
- **Deliberazione della Giunta Regionale n. 282/2008** “*Indicazioni operative alle Province per la riduzione dei rifiuti urbani biodegradabili da collocare in discarica, ai sensi della direttiva 199/31/CE e D.Lgs. n.36/2003 di recepimento*”

La *D.G.R. n.1996/2006* in osservanza del *D.Lgs. 152/2006* (Norme in materia Ambientale), regola uniformemente su tutto il territorio regionale il processo di produzione, la qualità e gli utilizzi possibili della FOS (Frazione Organica Stabilizzata). Il regolamento definisce le condizioni per l'utilizzazione, come materiale di ingegneria, ovvero per la copertura giornaliera e finale in discarica, del biostabilizzato, inteso come rifiuto speciale non pericoloso, ottenuto mediante biostabilizzazione aerobica della frazione prevalentemente umida dei rifiuti urbani indifferenziati separata meccanicamente, nonché della frazione umida dei rifiuti provenienti da raccolta separata.

La delibera stabilisce inoltre

- le condizioni minime che deve rispettare il processo di biostabilizzazione,
- le caratteristiche che deve avere il prodotto in funzione dell'uso,
- i controlli che devono essere effettuati per verificarne la qualità.

Per quanto riguarda il **processo di biostabilizzazione**, le condizioni minime che questo deve rispettare affinché il biostabilizzato possa essere utilizzato, sono le seguenti :

- la temperatura dei rifiuti nella fase accelerata deve essere mantenuta per almeno tre giorni oltre i 55 °C;
- la durata della stabilizzazione (costituita da bioossidazione e maturazione), intendendo come tale il periodo intercorso fra l'ingresso delle matrici organiche nel processo e l'uscita della biomassa stabilizzata al termine della fase di stabilizzazione, deve essere pari ad almeno 21 giorni. Non deve pertanto essere conteggiato, al fine del rispetto del periodo di 21 giorni, il periodo di tempo in cui le matrici, prese in carico nell'impianto, vengono depositate in attesa di essere avviate a processo;
- l'impianto di biostabilizzazione deve essere dotato di una sezione di vagliatura finale a 50 mm.

È previsto inoltre che le Amministrazioni Provinciali in sede di rilascio delle autorizzazioni valutino l'esigenza:

- ai fini del contenimento di polveri e di odori, che gli impianti siano strutturati in modo che le fasi di stoccaggio e di bioossidazione avvengano in ambiente confinato e siano assunte misure e sistemi di abbattimento;
- ai fini di evitare altre forme di inquinamento, le fasi di stoccaggio dei rifiuti da trattare, di biostabilizzazione e stoccaggio del biostabilizzato avvengano su superfici impermeabilizzate, dotate di sistemi di drenaggio e di raccolta delle acque reflue di processo da avviare a depurazione o da riutilizzare nel processo stesso.

Per quanto riguarda gli **utilizzi ammessi per la FOS**, derivante da processi che rispettino le condizioni minime, questi prevedono la copertura giornaliera o finale in discarica. Per quanto riguarda **copertura giornaliera dei rifiuti in discarica** l'uso del biostabilizzato è ammesso in discariche per rifiuti non pericolosi e le modalità di utilizzo sono le seguenti:

- il biostabilizzato deve possedere tutte le caratteristiche indicate nella Tabella 2.5;
- il suo utilizzo, come materiale di ingegneria, deve essere espressamente previsto nel Piano di Gestione Operativa della discarica;
- la quantità impiegata (espressa in tonnellate) non deve essere superiore al 20% della massa di rifiuti smaltiti in discarica su base annua;
- nel Piano di Gestione Operativa della discarica deve essere indicato il tempo massimo di detenzione del biostabilizzato nell'area della discarica prima dell'utilizzo, che di norma deve avvenire entro tre giorni dal ricevimento nell'impianto stesso.

PARAMETRI	UNITÀ di MISURA	VALORE LIMITE
Indice di Respirazione Dinamico	mg O ₂ /kg SV h	< 1000 ± 30%
Granulometria	mm	< 50
Umidità	% peso	< 50 %

Tabella 2.5 : Caratteristiche del biostabilizzato ai fini dell'utilizzo come copertura giornaliera

Mentre per quanto riguarda la **copertura superficiale finale della discarica** La delibera dispone che lo strato superficiale di copertura deve essere di spessore maggiore o uguale a 1 m con lo scopo di favorire lo sviluppo delle specie vegetali di copertura ai fini della realizzazione del piano di ripristino ambientale, di fornire una protezione adeguata contro l'erosione, nonché di proteggere le barriere sottostanti dalle escursioni termiche. Inoltre l'utilizzo della FOS è ammesso qualora questa possieda tutte le caratteristiche indicate nella Tabella 2.6; nonché tutti i requisiti per la copertura giornaliera.

PARAMETRI	UNITÀ di MISURA	VALORE LIMITE
Indice di Respirazione Dinamico	mg O ₂ /kg SV h	< 1000
Metalli	/	I limiti previsti dalla Tabella 3.1 della D.C.I. 27 luglio 1984 ³
Inerti	% peso	< 15
Plastiche	% peso	< 10
Vetro	% peso	< 15
Granulometria	mm	< 50
Umidità	% peso	< 50 %

Tabella 2.6: Caratteristiche del biostabilizzato ai fini della copertura superficiale finale

La tabella 3.1 della D.C.I.27 luglio 1984 stabilisce i valori limite previsti per i metalli pesanti per copertura in discarica che vengono riportati nella Tabella 2.7.

PARAMETRI	DISCARICA INERTI [mg/l]	DISCARICA NON PERICOLOSI [mg/l]	DISCARICA PERICOLOSI [mg/l]
As	0,05	0,2	2,5
Ba	2	10	30
Cd	0,004	0,02	0,2
Cr (totale)	0,5	1	7
Cu	0,2	5	10
Hg	0,001	0,005	0,05
Mo	0,05	1	3
Ni	0,04	1	4
Pb	0,05	1	5
Sb	0,006	0,07	0,5
Se	0,01	0,05	0,7
Zn	0,4	5	5

Tabella 2.7: Concentrazioni limite previste per i metalli pesanti per copertura in discarica

Con la D.G.R. n. 282/2008 sono stati integrati i criteri regionali per la pianificazione dei rifiuti da parte delle Province ed è stato disposto che le Province provvedano all'approvazione del Programma di riduzione dei Rifiuti Urbani Biodegradabili conferiti in discarica, ai sensi dell'art. 5 del D.Lgs. 36/2003.

³ D.C.I.: Delibera del Comitato Interministeriale, alla tabella 3.1 riporta le concentrazioni limite previste per i metalli pesanti per copertura in discarica .

3 Biostabilizzazione ossidativa della sostanza organica

La biostabilizzazione ossidativa è una tecnica attraverso la quale viene controllato, accelerato e migliorato il fenomeno naturale di degradazione delle biomasse ad opera di microrganismi.

Si tratta quindi di un processo biologico di stabilizzazione aerobica della sostanza organica, alla base del quale vi sono reazioni bioossidative esotermiche, promosse appunto da microrganismi, che vengono indicati come biomassa attiva e che si trovano naturalmente associati ai substrati sottoposti al trattamento. In seguito a tali reazioni, la matrice organica di partenza, indicata come substrato, subisce, in tempi relativamente brevi, trasformazioni chimiche (maturazione), con perdita di putrescibilità (stabilizzazione), contemporaneamente ad una parziale mineralizzazione ed umificazione.

L'utilizzo del compostaggio come tecnologia per il trattamento dei rifiuti organici putrescibili presuppone quindi, la conoscenza dei meccanismi microbici che vi stanno alla base.

Nel seguente capitolo, oltre alla descrizione del processo, verranno analizzati i fattori che condizionano la biologia del compostaggio, le interazioni ed i possibili metodi di controllo di tali fattori ai fini di un'ottimizzazione del processo.

3.1 Contesto di applicazione del processo

3.1.1 Categorie di rifiuti compostabili e ruolo nella gestione dei rifiuti

Il principale obiettivo del processo di compostaggio è l'ottenimento di un materiale stabile, ossia non suscettibile di ulteriori trasformazioni biologiche, che sia compatibile con l'impiego in agricoltura come ammendante organico; tale prodotto è il compost (dal latino *compositum*, ossia "formato da più materiali"). Per quanto riguarda la qualità del prodotto in uscita, questa é condizionata esclusivamente dai materiali di partenza per cui, l'esigenza di un prodotto finale di alta qualità, può essere soddisfatta solo utilizzando determinate materie prime.

Qualora il compostaggio rappresenti solamente un metodo di smaltimento dei rifiuti provenienti da *raccolta indifferenziata* (RSU, rifiuti solidi urbani), allora il processo si riduce ad un semplice trattamento preventivo per la collocazione in discarica dei residui organici che, essendo ormai stabilizzati, riducono problemi di ordine ambientale e gestionale. Il prodotto che si ottiene in questo caso è la **FOS** (*frazione organica stabilizzata*). Il compostaggio da raccolta indifferenziata presenta i seguenti vantaggi:

- stabilizza la componente organica, che può essere utilizzata per recuperi ambientali (di discariche, zone calanchive e per risanamenti) come fonte di fertilità, per la realizzazione di

letti caldi (nel vivaismo) come fonte di energia termica grazie al suo potere di isolante termico, inoltre può essere utilizzato per la costituzione di aree verdi di grandi dimensioni, parchi pubblici, campi da golf, campi da calcio, ecc., nonché per il recupero ambientale di cave esaurite;

- riduce la biomassa originaria del 60% in peso circa per evaporazione dell'acqua, perdita di anidride carbonica e azoto in forma ammoniacale (15-20% sul totale);
- produce compost di qualità scadente, ma buono dal punto di vista ambientale. È collocabile in discarica dove evita il rilascio eccessivo di odori sgradevoli; infatti anche se di pessima qualità, il compost ha la capacità di depurare biologicamente l'aria sottraendo i composti gassosi responsabili di cattivi odori.

La qualità del compost prodotto dalla frazione organica dei rifiuti solidi urbani selezionata a valle della raccolta è inoltre influenzata dall'eventuale presenza di materiali inquinanti quali pile e batterie esaurite, rifiuti "chimici urbani" e rifiuti speciali smaltiti abusivamente, nonché di vetro e plastica e metalli pesanti. Tutto ciò comporta il mancato raggiungimento di quello che è l'obiettivo principale del compostaggio e cioè l'ottenimento di un prodotto di ottima qualità e di facile collocazione sul mercato agricolo.

Come soluzione al problema si pongono la **raccolta differenziata** ed il successivo trattamento in impianti tecnologicamente avanzati; sono questi i requisiti essenziali che permettono di riqualificare il compost da RSU. In questa ottica le frazioni raccolte in forma differenziata, che possono essere sottoposte a compostaggio sono principalmente le seguenti:

- rifiuti ad elevato contenuto di sostanza organica, biodegradabili, derivanti da attività produttive, commerciali e di servizio;
- frazioni organiche provenienti da utenze domestiche;
- fanghi di depurazione urbani ed agroalimentari.

3.1.1.1 Rifiuti organici provenienti da utenze selezionate

Quantità elevate di rifiuti ad elevata matrice organica vengono prodotte da utenze selezionate, tra le quali rientrano:

- mercati all'ingrosso dell'ortofrutta, dei fiori e ittici e mercati rionali (banchi alimentari);
- esercizi commerciali di generi alimentari e macelli;
- punti di ristoro (pizzerie, trattorie, mense);
- industrie agroalimentari, tessili, cartarie e del legno.

Gli scarti prodotti da tali attività presentano concentrazioni di metalli pesanti, vetro e plastica, in quantità tali da richiedere eventuali trattamenti di separazione. Un'ulteriore riduzione quantitativa può essere raggiunta migliorando le differenziazioni in fase di raccolta.

Nella Figura 3.1 si riporta un possibile schema di impianto di compostaggio di tali rifiuti.

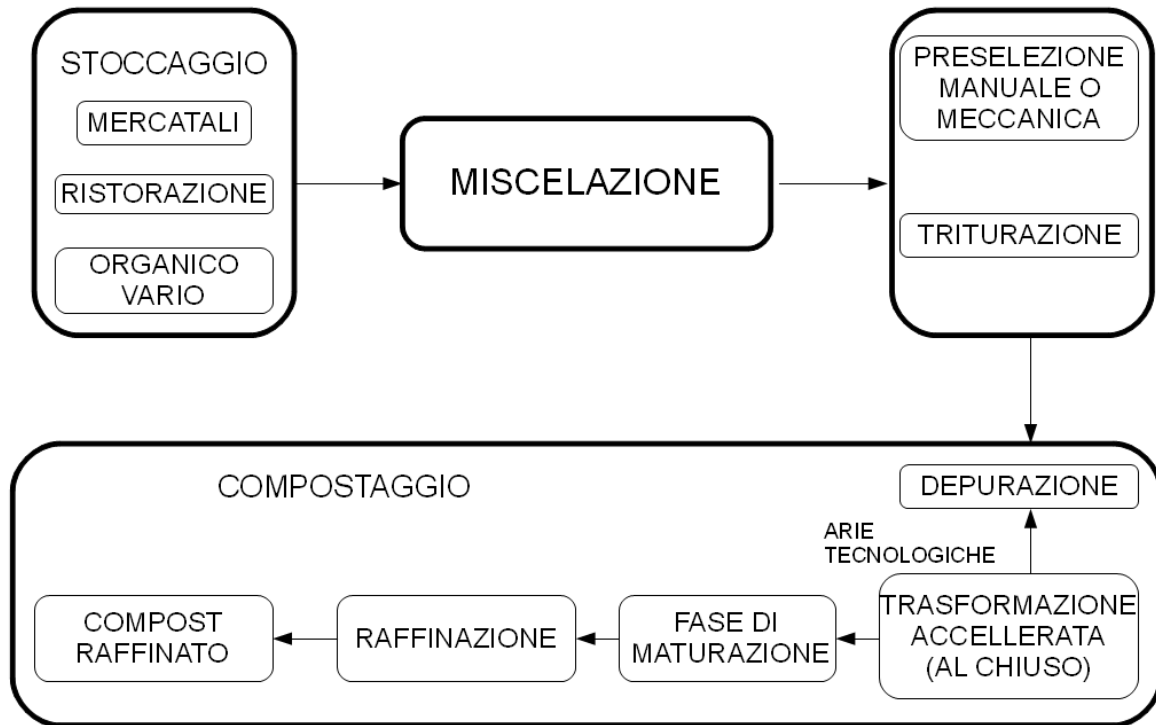


Figura 3.1: Esempio di una linea di compostaggio per organico da utenze selezionate (Fonte Barberis, Panzia Oglietti, Nappi "Ingegneria della trasformazione in compost")

Dalle aree di stoccaggio i rifiuti vengono opportunamente miscelati ed avviati ad una linea di preselezione, che rimuove la maggior parte di vetro, ferro e plastiche. Il materiale in uscita subisce poi una prima fase di trasformazione in condizioni controllate (stabilizzazione), con opportune movimentazioni ed aerazione attraverso insufflazione d'aria (l'aria di processo proveniente da tale fase, carica di odori e satura di umidità, dovrà subire successivi trattamenti di depurazione eventualmente tramite biofiltri) e una successiva fase di maturazione. Il prodotto maturo verrà poi sottoposto a raffinazione, ad esempio attraverso l'utilizzo di separatori balistici o sistemi aeraulici, che consentono la separazione dei materiali indesiderati, grazie alla diversità di peso specifico, rispetto al compost.

3.1.1.2 Frazioni organiche provenienti da raccolta secco-umida condotta presso utenze domestiche

Questo tipo di selezione (secco-umido in appositi contenitori), condotto dai nuclei familiari, ha portato negli anni alla raccolta di un rifiuto costituito prevalentemente da sostanza organica, con piccole quantità di plastica e vetro. L'organico raccolto in modo differenziato dai nuclei familiari, attraverso la raccolta secco-umido, rappresenta una quota variabile tra 25% e 35% in peso. La composizione del rifiuto non si scosta di molto da quella dell'organico proveniente da utenze selezionate, con l'unica differenza rispetto a quest'ultime che, essendo di molto superiore il numero di utenze domestiche necessarie a raccogliere le stesse quantità di rifiuti, ne consegue una minor possibilità di controllo e quindi un maggior rischio di trattare rifiuti non sufficientemente selezionati.

In questo caso, la tipologia impiantistica è simile a quella utilizzata per la frazione proveniente da utenze selezionate (Figura 3.1).

3.1.1.3 Fanghi di depurazione urbani ed industriali

La possibilità di riutilizzare in agricoltura i fanghi provenienti dalla depurazione di acque reflue urbane e industriali dipende dalla qualità dei fanghi stessi (in particolar modo dal loro contenuto in metalli pesanti), che può influenzare il processo e la qualità finale dei prodotti.

In generale gli impianti di depurazione delle acque reflue urbane sono in grado di produrre fanghi riutilizzabili in agricoltura, qualora questi non vengano a contatto nelle fognature con scarichi industriali particolarmente inquinati, sebbene anche i fanghi prodotti da talune categorie di industrie, esempio quella agroalimentare, quella cartaria e del legno contengano quantitativi di inquinanti molto limitati.

È comunque necessario per l'impiego di questa tipologia di rifiuto in un processo di compostaggio, la miscelazione di questo con residui lignocellulosici (corteccie, paglie, trucioli), al fine di garantire le adeguate condizioni strutturali e il corretto rapporto C/N (rapporto carbonio azoto) (vedi paragrafo 3.2.3).

3.1.1.4 Rifiuti Verdi

Particolare attenzione è da rivolgere ai rifiuti verdi, il cui impiego si concretizza con la produzione di compost di alta qualità. Questi hanno origine sia dalle utenze selezionate prima citate, come mercati ortofrutticoli, mercati centrali e rionali al minuto, nonché negozi ortofrutticoli e supermercati, ma comprendono anche sfalci, potature e foglie derivanti dalla manutenzione delle aree a verde pubbliche e private e in generale residui prodotti da attività di vendita di fiori e piante,

che spesso però finiscono mischiati ai rifiuti solidi, con conseguente contaminazione da metalli pesanti. In particolare è da considerare l'eventuale presenza dei metalli pesanti soprattutto per quella frazione, ad esempio le foglie, che può provenire da zone molto trafficate, in cui è possibile si accumuli in modo rilevante la polvere stradale. Riguardo i residui di pesticidi potenzialmente presenti il rischio sembra minimo in quanto, essendo quest'ultimi velocemente biodegradabili, a completamento del processo di compostaggio saranno completamente scomparsi.

E' inoltre possibile trovare nei rifiuti verdi fitopatogeni che potrebbero diffondere nell'ambiente qualora dovessero permanere nel compost finale; ma anche questo rischio risulta minimo, in quanto durante il processo tali microrganismi sono distrutti per azione combinata delle alte temperature e della competizione che si crea tra essi e la flora microbica responsabile del compostaggio; il materiale finale non contiene fitopatogeni ed è in grado di esercitare azione fitorepressiva verso alcuni di essi. A causa del loro elevato rapporto C/N, è necessario miscelare tali rifiuti con altri ad elevata matrice organica (ricchi in azoto), quali i fanghi di depurazione, in modo da ottenere prodotti con migliori qualità agronomiche (vedi paragrafo 4.1).

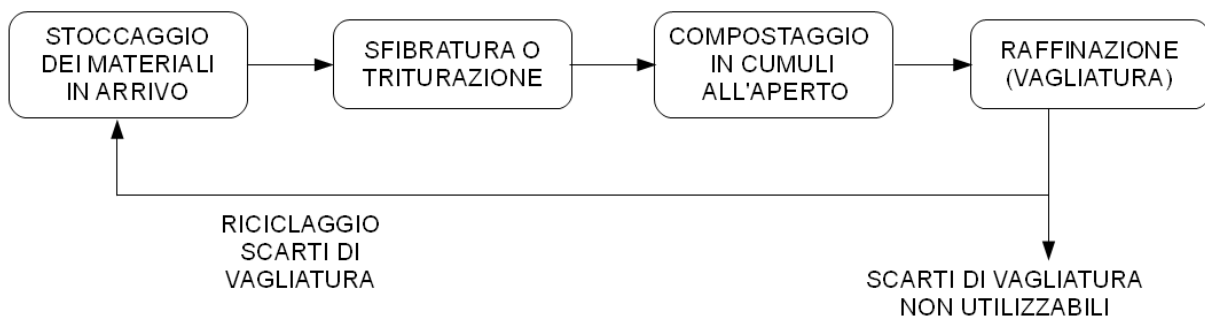


Figura 3.2: Esempio di un impianto di compostaggio di rifiuti verdi
(Fonte Barberis, Panzia Oglietti, Nappi "Ingegneria della trasformazione in compost")

In conclusione possiamo dire che, in un contesto di gestione integrata dei rifiuti, il compostaggio da solo non rappresenta una soluzione esaustiva al problema, ma va visto come una possibile forma di trattamento della componente organica putrescibile. Così mentre le frazioni secche ad alto potere calorifico (carta e plastica) trovano nell'incenerimento con recupero di energia una corretta valorizzazione, i materiali inerti, non riciclabili o recuperabili in alcun modo trovano giusta collocazione in discarica, la frazione organica putrescibile è compatibile con i trattamenti biologici, come appunto il compostaggio.

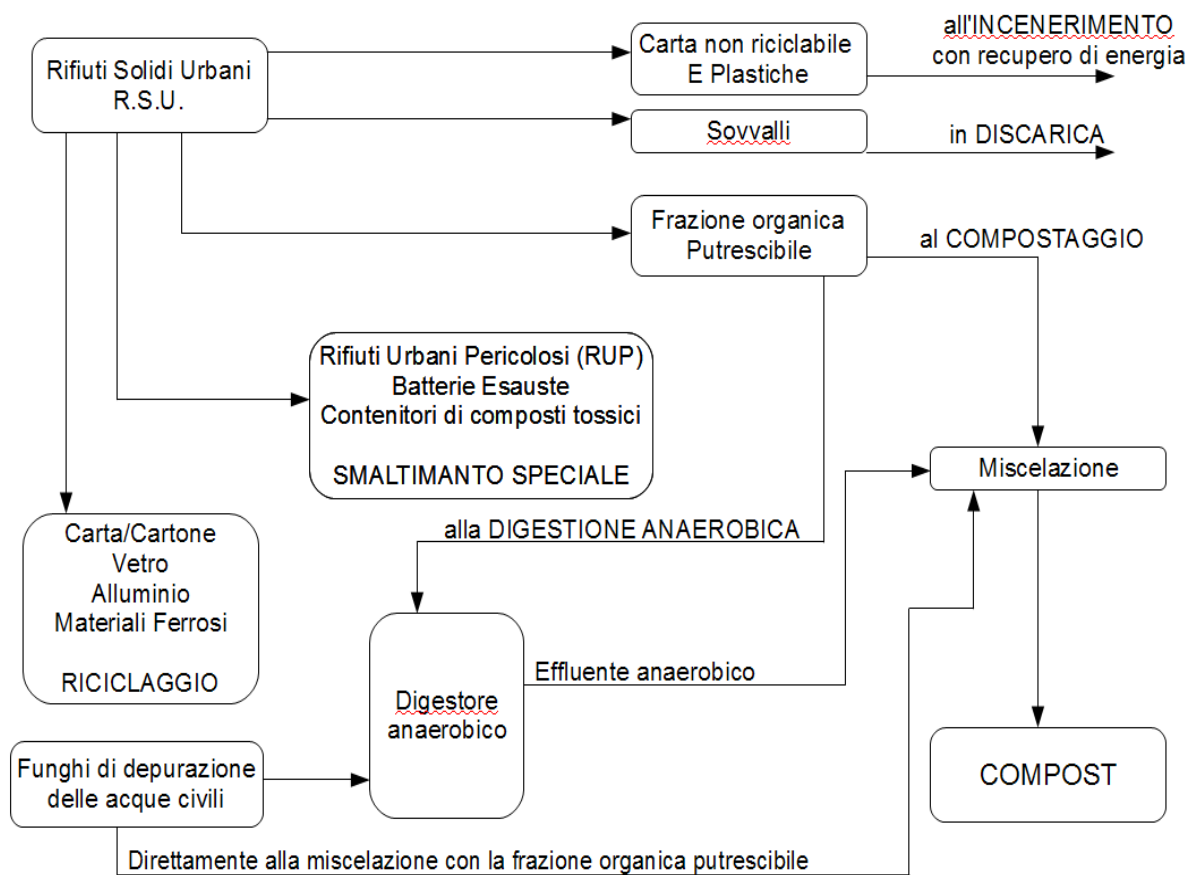


Figura 3.3: Schema di un possibile esempio di gestione integrata dei rifiuti solidi urbani
(Fonte Vallini, Pera, Valdrighi “Ingegneria della trasformazione in compost”)

3.2 Il processo di Compostaggio

3.2.1 I microrganismi

Come accennato precedentemente, il compostaggio si realizza grazie all'attività di particolari microrganismi aerobi, i quali esercitano un ruolo fondamentale nel processo, degradando la sostanza organica, traendo in tal modo l'energia necessaria alle loro attività metaboliche e liberando acqua, biossido di carbonio, calore e sostanza organica stabilizzata, ricca di sostanze umiche⁴.

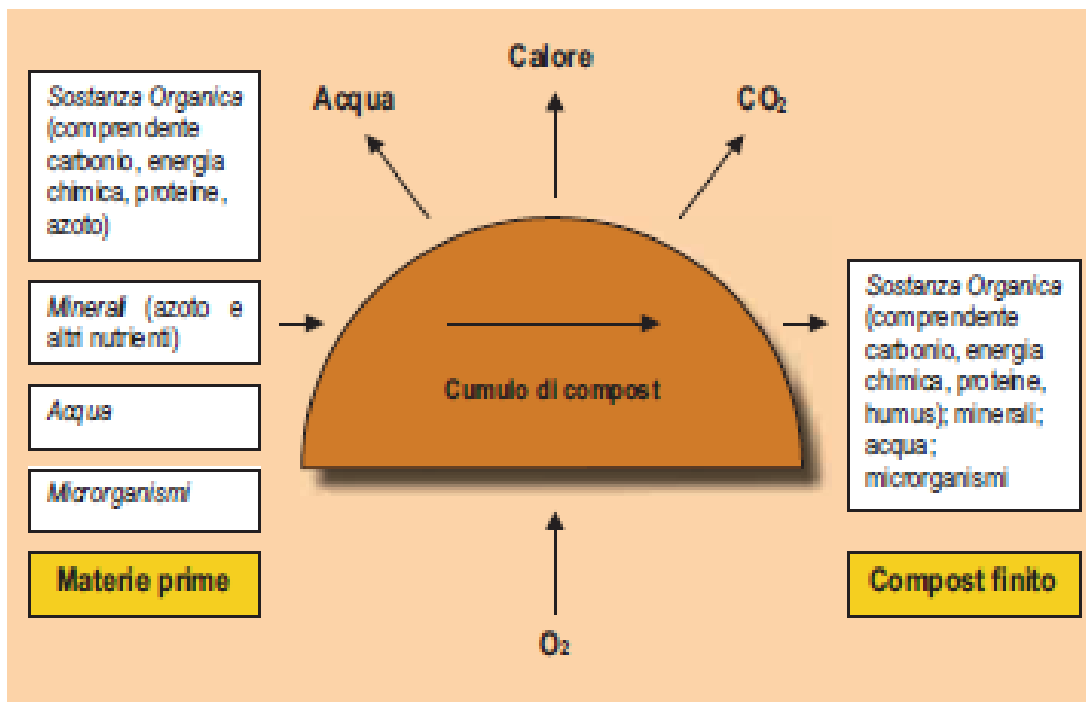


Figura 3.4: Il processo di compostaggio, dai materiali di partenza al prodotto finale

⁴ **Sostanze umiche:** macrostrutture sintetizzate ex novo e dotate di caratteristiche chimiche proprie, elaborate a partire da molecole derivanti dalla demolizione dei materiali organici sottoposti a compostaggio. Dal punto di vista analitico le sostanze umiche sono suddivise in

- **Umina**, frazione della sostanza organica del terreno o dell'humus insolubile in alcali (pH = 9);
- **Acidi umici**, frazione organica del terreno solubile in alcali (pH = 9) e insolubile in acidi (pH = 1), caratterizzata da una colorazione bruno-scura;
- **Acidi fulvici**, frazione organica del terreno solubile in alcali (pH = 9) e in acidi (pH = 1), con colorazione bruno-chiara.

In termini generali i maggiori raggruppamenti di microrganismi che partecipano al processo sono i **batteri**, gli **attinomiceti** (con struttura cellulare procariote) e gli **eumiceti** (con struttura cellulare eucariote). Questi ultimi comprendono le muffe (funghi filamentosi) e i lieviti, i quali rivestono però un ruolo secondario nella stabilizzazione.

In generale, i batteri sono i più numerosi (circa cento volte superiori alle altre categorie), ciò nonostante nessuna specie microbica domina il processo, poiché all' interno del substrato, che si modifica in continuazione, si instaura una serie di ambienti localizzati, ognuno dei quali popolato da un "consortium" di microorganismi. Tale diversità assicura la continuità del processo, anche a seguito dei continui cambiamenti di condizioni. Per quanto riguarda i batteri, questi rappresentano anche i decompositori a crescita più rapida, sebbene siano invisibili a occhio nudo. I funghi, d'altra parte, sono organismi di dimensioni più grandi e si sviluppano sotto forma di intricati filamenti ifali (micelio), apprezzabili ad occhio nudo. Essi sopportano meglio condizioni di scarsa umidità e basso pH, ma difficilmente tollerano basse concentrazioni di ossigeno. Questi ultimi sono inoltre i più attivi decompositori della materia ligno-cellulosica. Gli attinomiceti formano filamenti (pseudomiceli) come i funghi. Dal punto di vista delle dimensioni e della struttura cellulare sono però tecnicamente dei batteri. Come i funghi sono generalmente aerobi e tendono ad aumentare nelle matrici in compostaggio, dopo che le sostanze facilmente degradabili sono state metabolizzate e quando i valori di umidità cominciano ad abbassarsi.

I batteri si sviluppano specialmente nei primi stadi del compostaggio, sfruttando i materiali più prontamente degradabili (molecole semplici come zuccheri, acidi organici, aminoacidi), mentre eumiceti ed attinomiceti diventano più importanti verso gli stadi finali del processo, quando sono disponibili le componenti organiche più resistenti (cellulosa e lignina) all'attacco microbico. Se poi la concentrazione di ossigeno nel substrato diventa troppo bassa (< 5%) si instaurano condizioni favorevoli allo sviluppo dei batteri anaerobi.

Quando la biomassa substrato comincia a scaldarsi, le specie termofile esercitano un ruolo sempre più importante, accrescendosi e moltiplicandosi, sebbene anche le mesofile possano sopravvivere. Se poi la temperatura continua a crescere, oltre i 70°C, la crescita microbica viene inibita e quasi tutti i microorganismi muoiono, esclusi alcuni ancora vitali in condizioni estremo-termofile (es.: *Bacillus stearothermophilus* e *Thermus*) ed alcuni batteri ed attinomiceti in grado di formare strutture resistenti al calore (spore). Quando la matrice in compostaggio torna a raffreddarsi, a causa della progressiva diminuzione dell'attività microbica, tutte le specie si riattivano. Negli ultimi stadi del processo, quando la temperatura si stabilizza con quella dell'ambiente circostante, si diffondono anche protozoi, acari ed insetti.

Quindi in base ai regimi di temperatura in cui svolgono la propria attività metabolica, possiamo suddividere i microorganismi in:

- **mesofili**: attivi in intervalli di temperatura tra 30 – 45°C;
- **termofili**: attivi in intervalli di temperatura tra 45 – 70°C;
- **estremo-termofili**: attivi in intervalli di temperatura tra 70 - 90°C.

Altri agenti biologici, naturalmente associati alle matrici inviate al compostaggio, sono quelli cosiddetti patogeni (virus, parassiti), i quali risultano potenzialmente dannosi per l'uomo, gli animali d'allevamento o le piante coltivate.

Questi vengono comunque efficacemente disattivati sia dalle alte temperature raggiunte durante il processo, sia dai fenomeni di competizione fra specie microbiche.

3.2.2 Fasi del processo di compostaggio

Il processo si articola in fasi meccaniche e fase biologica. Le fasi meccaniche operano a monte della fase biologica e hanno lo scopo di migliorarne l'efficienza. I rifiuti, pesati all'atto del conferimento all'impianto, vengono stoccati in fosse di accumulo chiuse, mantenute in depressione. Il convogliamento dei rifiuti verso i successivi stadi di trattamento avviene all'interno di canalizzazioni chiuse, operanti in lieve depressione, per evitare diffusioni di polveri. Il processo al suo inizio prevede operazioni di **triturazione** e **vagliatura**, eventualmente costituite da più stadi, che hanno lo scopo di preparare i rifiuti al trattamento biologico e di separare dalla massa omogeneizzata la frazione non compostabile. In particolare, la triturazione ha per obiettivi principali la riduzione della pezzatura dei rifiuti (2÷4 cm) e la loro omogeneizzazione, mentre la vagliatura consente di uniformare la pezzatura dei materiali, separando dal flusso di trattamento i sovralli, costituiti essenzialmente da materiali di scarto o sovrabbondanti. Gli scarti di vagliatura possono essere riciclati a monte della triturazione; in ogni caso il materiale definitivamente scartato in vagliatura può essere smaltito, eventualmente previa deferrizzazione, o riutilizzato come fonte di altro materiale di recupero. Se presenti materiali ferrosi, la loro separazione richiede generalmente l'impiego di opportuni campi magnetici e può essere effettuata più comunemente a monte della triturazione oppure nella **fase di raffinazione**. Quest'ultima operazione avviene di solito a valle del processo biologico, ma in alcuni casi si fa ricorso a un processo di pre-raffinazione, che consiste sostanzialmente in una triturazione secondaria atta a ridurre ulteriormente la pezzatura e a polverizzare gli inerti residui.

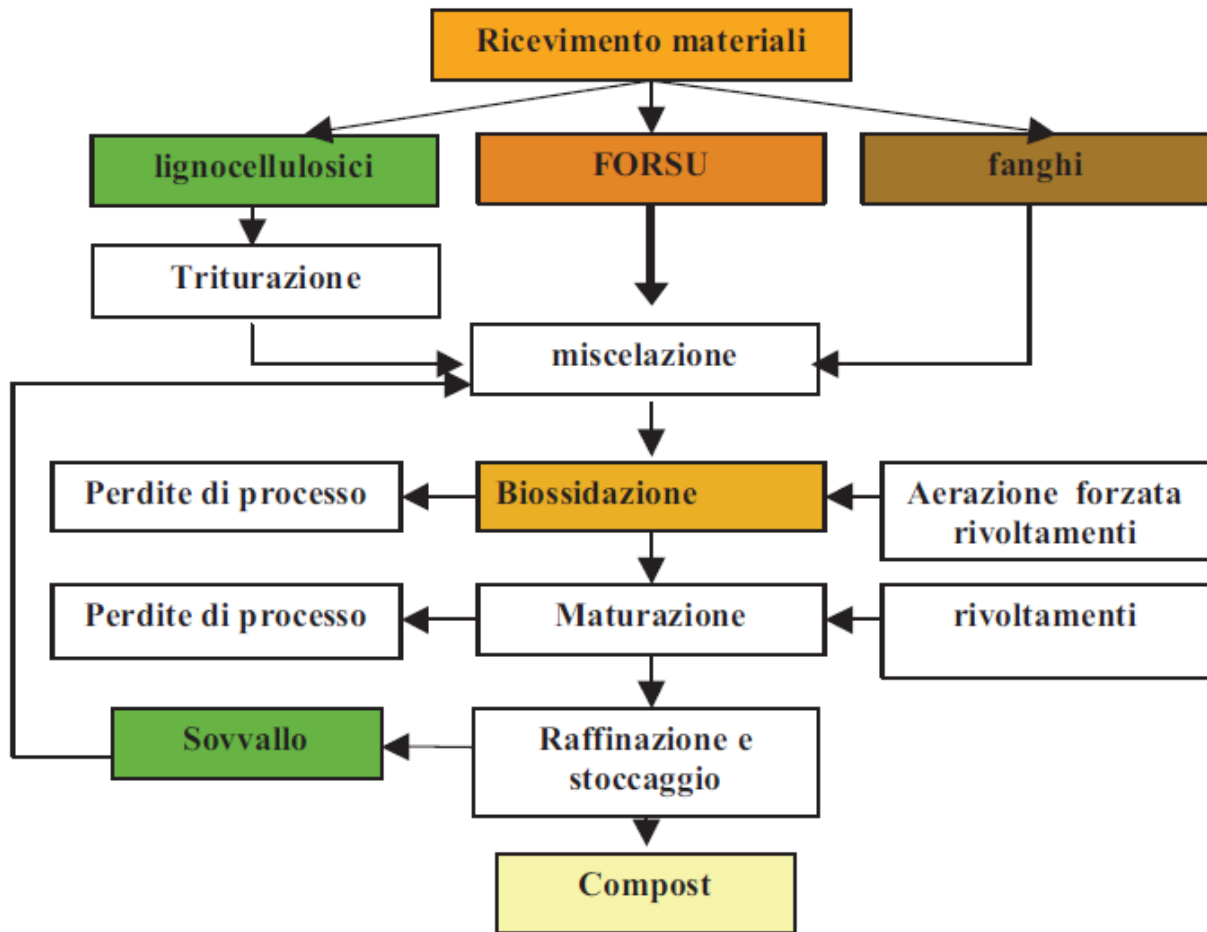


Figura 3.5: Layout di un processo di compostaggio

Per quanto riguarda la fase biologica, in base alle modifiche biochimiche che subisce la sostanza organica durante il compostaggio, questa può essere suddivisa in:

- **fase di biossidazione**, nella quale si ha l'igienizzazione della massa ad elevate temperature (> 55°C); questa è la fase attiva del processo (nota anche come **high rate phase** o **active composting time**) caratterizzata da intensi processi di degradazione delle componenti organiche più facilmente degradabili;
- **fase di maturazione**, durante la quale il prodotto si stabilizza arricchendosi di molecole umiche; si tratta della fase nota come **curing phase** o **fase di finissaggio**, caratterizzata da processi di trasformazione delle molecole organiche più complesse, fino alla formazione di sostanze umiche.

La prima si basa su di un processo aerobio ed esotermico, la presenza nella matrice di composti prontamente metabolizzabili comporta elevati consumi di ossigeno e parte dell'energia della trasformazione è dissipata sotto forma di calore. Tale fase deve durare almeno un mese.



Figura 3.6: Effetto dell'innalzamento della temperatura in un cumulo

L'effetto più evidente di questa fase è l'aumento della temperatura che, dai valori caratteristici dell'ambiente circostante, passa a valori intorno 55-60°C e oltre, in misura tanto più repentina e persistente quanto maggiore è la fermentescibilità del substrato e la disponibilità di ossigeno atmosferico. Tale innalzamento è particolarmente marcato nelle 12-48 ore successive alla sistemazione della sostanza in cumulo. La liberazione di energia sotto forma di calore caratterizza questa fase del processo di compostaggio che viene perciò definita *termofila*, comportando un'elevata richiesta di ossigeno da parte dei microrganismi che entrano in gioco per la degradazione della sostanza organica, con formazione di composti intermedi come acidi grassi volatili a catena corta (acido acetico, propionico e butirrico), tossici per le piante ma rapidamente metabolizzati dalle popolazioni microbiche. Il consumo di ossigeno da parte dei microrganismi e l'assestamento delle matrici fanno sì che venga espulsa aria dagli spazi esistenti tra le particelle di substrato, quindi se l'apporto di ossigeno diminuisce, la decomposizione aerobica rallenta fino eventualmente ad arrestarsi completamente, se l'ossigeno non si rende nuovamente disponibile. In questa fase, l'aerazione della matrice da compostare è quindi una condizione fondamentale per l'avanzamento del processo. Essa può avvenire sia attraverso scambi passivi (diffusione e convezione) tra aria esterna e interna alla matrice, anche se generalmente non sufficienti, sia per ventilazione forzata. Il prodotto che si ottiene al termine di questa fase è il **compost fresco**, un materiale igienizzato e

sufficientemente stabilizzato grazie all'azione dei batteri aerobi, ma ancora in fase di trasformazione biologica.



Figura 3.7: Cumulo di compost in trasformazione posto all'interno di un capannone in depressione

Proprio l'igienizzazione, e quindi l'inattivazione di semi di piante infestanti e organismi patogeni, è uno dei più importanti effetti di questa prima fase, purché la temperatura si mantenga su valori superiori a 55°C per almeno tre giorni consecutivi.

Tale fase può essere rappresentata dalla seguente reazione:



Con la scomparsa dei composti più facilmente biodegradabili, le trasformazioni metaboliche di decomposizione interessano le molecole organiche più complesse e si attuano con processi più lenti, anche a seguito della morte di una buona parte della popolazione microbica dovuta a carenza di nutrimento. E' questa la seconda fase del processo nel corso della quale i processi metabolici diminuiscono di intensità e le temperature si abbassano a valori di 40-45°C per poi scendere progressivamente, stabilizzandosi poco al di sopra della temperatura ambiente (*fase mesofila*). Il prodotto che si ottiene è il **compost maturo**, una matrice stabile di colorazione scura, con tessitura

simile a quella di un terreno ben strutturato, ricca in composti umici e dal caratteristico odore di terriccio di bosco.



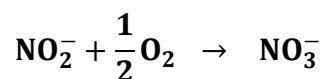
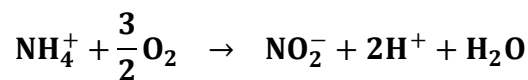
Figura 3.8: Compost maturo

La fase di finissaggio è tanto più importante quanto più lo stadio attivo è stato accorciato o mal gestito. Tale fase costituisce quindi lo strumento per ovviare agli inconvenienti, che possono nascere dall'utilizzo di sistemi di compostaggio sbagliati e riduce eventualmente il rischio che si possa utilizzare compost non maturo, il quale continuando a consumare ossigeno, se somministrato alle colture, interferirebbe sulla respirazione delle radici. Il compost non completamente stabilizzato possiede inoltre una fitotossicità residua.

Attraverso la fase di maturazione si favorisce quindi:

- la completa eliminazione dei fattori transitori della fitotossicità;
- un' ulteriore decomposizione delle sostanze più resistenti all'attacco microbico;
- una più spinta humificazione;
- un maggior affinamento della tessitura del prodotto finito.

In tale si verificano reazioni di nitrificazione, tramite le quali l'ammoniaca (NH₃), prodotta nella prima fase, viene ossidata e trasformata in nitrito (NO₂⁻) e quindi in nitrato (NO₃⁻), secondo quanto segue



la prima avviene tramite batteri *Nitrosomonas*, mentre la seconda tramite batteri *Nitrobactor*. Queste due reazioni combinate forniscono la seguente:



Normalmente si assume che tale fase abbia inizio quando, dopo rivoltamento, il materiale in compostaggio non riprende a riscaldarsi, oppure, quando in condizioni di ventilazione forzata, cominci a raffreddarsi; mentre si assume finisca quando, in presenza di un contenuto in umidità ancora compatibile con l'attività microbica, la temperatura della matrice si avvicini a quella dell'ambiente. Si assume comunque un periodo minimo di finissaggio di almeno 45 giorni.

La Tabella 3.1 riporta in sintesi le principali caratteristiche delle due fasi costituenti il processo di compostaggio.

	Fase di Bioossidazione	Fase di Maturazione
Tipologia di sostanza organica degradata	Molecole semplici, prontamente biodegradabili e fermentescibili, quali zuccheri, acidi organici, aminoacidi ecc.	Molecole organiche più complesse, sostanze recalcitranti rimaste nella matrice, quali lignina, amido e cellulosa
Tipo di microrganismi coinvolti	Microrganismi principalmente termofili (batteri, funghi ecc.)	Microrganismi prevalentemente mesofili (batteri, funghi, actinomiceti, eumiceti, ecc.)
Effetti della degradazione	Produzione di H ₂ O, CO ₂ , NH ₃ , intermedi fitotossici ed elevata produzione di sostanze odorogene (acidi grassi volatili, composti solforati ecc.)	Produzione di H ₂ O, CO ₂ , NH ₃ in quantità limitata
Temperatura	Molto elevata, oltre i 60°C	Si abbassa (40-45 °C) fino a temperatura ambiente
Prodotto finale	Compost fresco	Compost maturo

Tabella 3.1: Caratteristiche delle due fasi costituenti il processo di compostaggio

Il compostaggio consente una riduzione del volume della biomassa iniziale variabile da 1/4 a più di 1/2 del volume iniziale, a seconda delle caratteristiche della matrice di partenza. La maggior parte della diminuzione del volume è dovuta all'evaporazione dell'acqua. Inoltre vi sono i contributi dovuti, sia alla fuoriuscita di CO₂ a seguito di processi di mineralizzazione, sia alla trasformazione della matrice grossolana iniziale in materiale friabile, di fine tessitura.

Per quanto riguarda i nutrienti, la maggior parte di questi non viene persa dalle matrici in compostaggio e si ritrova nel prodotto finale, fatta eccezione per alcune perdite di azoto sotto forma di ammoniaca e proprio per questo il compost trova così larga applicazione in agricoltura come ammendante. Il suo utilizzo apporta sostanza organica al terreno e lo arricchisce in elementi

nutritivi (azoto, fosforo e potassio). In particolare l'apporto di sostanza organica nel suolo può contrastare:

- l'erosione, migliorando la struttura del terreno e permettendo la formazione di aggregati stabili in quelli sabbiosi;
- la desertificazione, costituendo una base energetica per gli organismi vegetali e aumentando la capacità di ritenzione idrica nei terreni sciolti.

3.2.3 I parametri che influenzano il processo di compostaggio

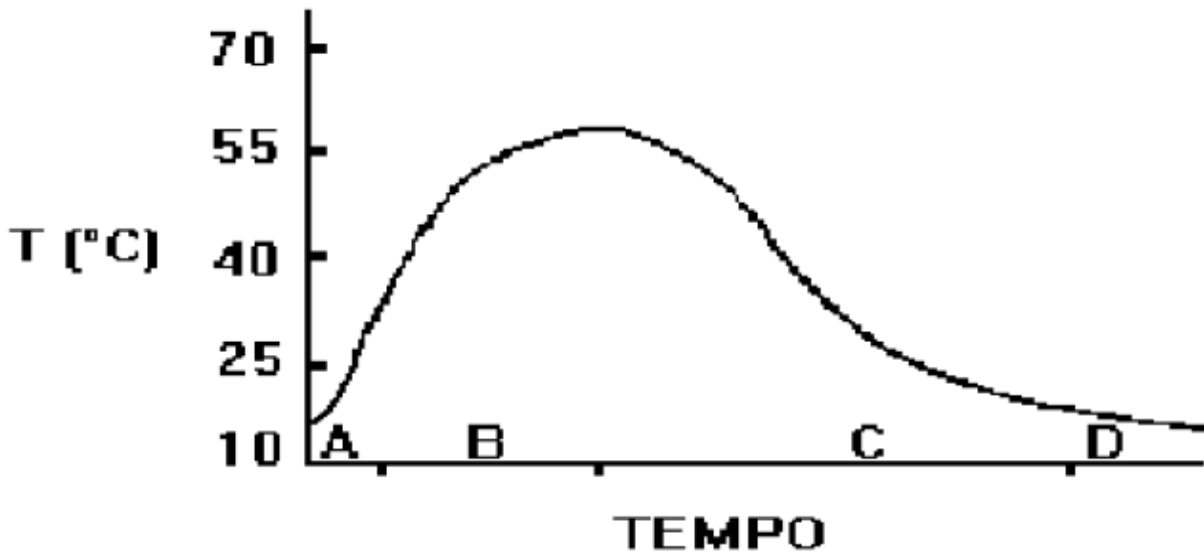
In un processo di compostaggio controllato è importante creare e mantenere le condizioni ambientali capaci di favorire e accelerare le attività microbiche. Questo stato di optimum per i microrganismi dipende dall'interazione combinata di diversi fattori, che devono essere considerati con attenzione se si vuole gestire il processo di compostaggio con la massima efficienza. I principali sono:

- la temperatura;
- la concentrazione di ossigeno e l'aerazione;
- la porosità, la struttura, la tessitura e la dimensione delle particelle;
- l'umidità del materiale;
- la concentrazione ed il rapporto dei nutrienti nella biomassa (es. rapporto C/N);
- il pH;
- il tempo.

Il controllo dell'andamento di questi indici è molto importante soprattutto nelle prime fasi del processo, ovvero quando il materiale è più attivo e subisce le principali trasformazioni.

3.2.3.1 .Temperatura

La temperatura è il parametro che dà informazioni sull'andamento del processo e sull'intensità delle reazioni. Attraverso la prima fase del processo di compostaggio (*fase termofila*), con l'innalzamento della temperatura fino a valori che variano tra 45°C e 70°C, si conseguono la riduzione dell'umidità dei materiali, l'igienizzazione del prodotto attraverso l'abbattimento della carica patogena presente nella matrice di origine e l'inattivazione dei semi delle erbe infestanti e dei parassiti delle piante (temperature non inferiori a 55°C). La seconda fase vede poi, come precedentemente detto, una progressiva diminuzione della temperatura fino a raggiungere valori ambiente alla fine del processo. L'andamento della temperatura, in funzione del tempo, è riportata nella seguente figura (Figura 3.9).



A= Stadio mesofilo

B= Stadio termofilo

C= Stadio di raffreddamento

D= Stadio di maturazione

Figura 3.9: Andamento della temperatura nelle diverse fasi del processo di compostaggio

Le alte temperature che si raggiungono nel corso del compostaggio garantiscono la distruzione degli agenti patogeni presenti nella matrice in trasformazione, come riportato in Tabella 3.2.

AGENTE PATOGENO	TEMPI e TEMPERATURE di SCOMPARSA
<i>Salmonella sp.</i>	Muore in 60' a 55 °C e in 15-20' a 60 °C
<i>Salmonella typhosa</i>	Muore in 30' a 55-60 °C ed entro 20' a 60 °C
<i>Escherichia coli</i>	Muore in 60' a 55 °C e in 15-20' a 60 °C
<i>Streptococcus piogene</i>	Muore in 10' a 54 °C
<i>Ascaris lumbricoides (uova)</i>	Muore in 50-55' sopra i 50 °C
<i>Mycobacterium tuberculosis var. hominis</i>	Muore in 15-20' a 66 °C e istantaneamente a 67 °C

Tabella 3.2: Temperatura e tempi di esposizione necessari alla distruzione dei più comuni agenti patogeni e parassiti presenti nella matrici in compostaggio

(Fonte "COMPOST: Fonte di nuova fertilità")

Si è già detto che la decomposizione microbica durante il compostaggio rilascia grandi quantità di energia sotto forma di calore. Le proprietà auto-coibentanti dei materiali avviati al compostaggio favoriscono l'accumulo di calore, il quale causa l'aumento di temperatura. Allo stesso tempo, però, una certa quantità di calore viene persa grazie all'evaporazione dell'acqua e ai movimenti d'aria,

che rimuovono il vapore acqueo ed i gas caldi (es. CO₂) dal substrato. Tutti i sistemi di aerazione accelerano tale perdita del calore, e quindi sono utilizzati per mantenere la temperatura nell'intervallo compatibile con l'attività metabolica dei microrganismi.

E' importante ricordare che in caso vi sia una scarsa dissipazione del calore, generato dalle reazioni ossidative esotermiche, la temperatura può raggiungere e oltrepassare i 70°C. A tali temperature, come già accennato, la quasi totalità dei microrganismi soccombe o diventa dormiente ed il processo si arresta.

Per evitare questa situazione sono perciò utili sia puntuali monitoraggi della temperatura, sia l'attivazione di sistemi come il rivoltamento o la ventilazione forzata, che accelerino la rimozione del calore. Nel caso si verifichi una pressoché totale auto-sterilizzazione della matrice, il recupero del processo si può ottenere miscelando al substrato materiale microbiologicamente attivo dello stesso tipo, proveniente da altri cumuli o reattori.

3.2.3.2 Concentrazione di ossigeno e aerazione

Il compostaggio è un processo aerobico e l'ossigeno è pertanto necessario ai microrganismi attivi. La quantità di ossigeno richiesta è diversa a seconda delle fasi del processo. Le maggiori richieste di ossigeno si hanno nella prima fase del processo, quando la presenza di materiali prontamente degradabili favorisce l'attività microbica con innalzamento della temperatura e produzione di biossido di carbonio (CO₂). Il livello di ossigeno all'interno della massa in biodegradazione, per una gestione ottimale del processo, deve mantenersi al di sopra del 10-12%; se invece l'apporto di ossigeno è limitato (< 5%) la biomassa diventa anossica, i microrganismi anaerobici prendono il sopravvento portando all'accumulo di composti ridotti (quali acidi grassi volatili, idrogeno solforato, mercaptani, ecc.), distinti da un odore decisamente aggressivo e da elevata fitotossicità. Il mantenimento di un ambiente ossidativo all'interno della matrice organica in corso di stabilizzazione è quindi importante per impedire il formarsi di emissioni maleodoranti, associate alle reazioni di decomposizione anaerobica.

Per evitare questo, nei processi di compostaggio controllato si interviene con sistemi di movimentazione e/o aerazione forzata sia per garantire l'apporto di ossigeno necessario, sia per consentire la dissipazione di calore, come già accennato, e l'eliminazione del vapore d'acqua nonché di altri gas intrappolati all'interno del cumulo. In effetti il tasso di aerazione richiesto per la rimozione del calore può essere anche dieci volte maggiore a quello necessario per l'apporto di ossigeno.

3.2.3.3 Porosità, struttura, tessitura e dimensione delle particelle

La porosità, la struttura e la tessitura sono correlate con le proprietà fisiche dei materiali quali la pezzatura, la forma e la consistenza. Esse condizionano il processo di compostaggio attraverso l'influenza esercitata sull'aerazione. Tali proprietà possono essere corrette tramite operazioni di triturazione e sminuzzamento dei substrati di partenza o tramite la miscelazione di questi con matrici definite agenti di supporto (bulking agents).

La porosità totale del substrato è la misura degli spazi vuoti esistenti nella biomassa in fase di compostaggio e si determina calcolando il rapporto, espresso in percentuale, tra il volume occupato dagli spazi vuoti all'interno della biomassa e quello occupato dalla biomassa stessa. Questa determina inoltre la resistenza alla circolazione dell'aria e dipende dalla dimensione delle particelle, dalla distribuzione granulometrica dei materiali e dalla continuità degli interstizi tra le particelle (particelle più grandi e più uniformi incrementano la porosità). Valori ottimali di porosità si attestano sul 35-50%.

La struttura indica la rigidità delle particelle, ovvero la resistenza delle stesse a collassare e compattarsi. Un buon grado di struttura previene la perdita di porosità del substrato.

La tessitura è la caratteristica che descrive l'area superficiale del substrato, disponibile per l'attività microbica aerobica. Nel corso del compostaggio, le reazioni di degradazione avvengono prevalentemente alla superficie delle particelle, ciò perché l'ossigeno diffonde più facilmente attraverso gli spazi vuoti, presenti tra le particelle, piuttosto che attraverso la fase liquida o i materiali solidi. In questo modo, i microrganismi aerobi si concentrano nel sottile strato acquoso, che contorna le particelle, utilizzando così l'ossigeno presente all'interfaccia tra la fase liquida e la fase gassosa negli interstizi. Quindi, poiché l'estensione dell'area superficiale aumenta con la riduzione della pezzatura, il tasso di decomposizione aerobica si innalza in una matrice organica, quanto più piccole sono le dimensioni delle particelle. Particelle troppo piccole, d'altronde possono ridurre la porosità ed quindi necessario trovare una situazione di compromesso.

Risultati soddisfacenti si ottengono, quando il diametro medio delle particelle della matrice oscilla tra 0,5 e 5 cm.

3.2.3.4 Umidità del materiale

L'umidità è necessaria affinché i processi metabolici microbici possano attuarsi. La fase acquosa svolge un ruolo fondamentale per la sopravvivenza dei microrganismi in quanto rappresenta un mezzo per la dissoluzione dell'ossigeno atmosferico e per la diffusione dei principi nutritivi e un fattore importante per la termoregolazione del sistema.

Dal punto di vista teorico, l'attività biologica trova condizioni ottimali in un ambiente saturo. Di contro, essa si blocca completamente per valori di umidità inferiori al 15%. Nella pratica, tuttavia, i materiali da compostare dovrebbero avere un contenuto di umidità compreso tra 45% e 65%. Già attorno a valori del 40% il processo comincia ad essere inibito, mentre per valori superiori al 65%, l'acqua espelle l'aria dagli interstizi, ostacolando la diffusione dell'ossigeno e favorendo l'instaurarsi di condizioni anossiche. Siccome poi, l'umidità nel substrato diminuisce con l'avanzare del processo, a causa dell'aumento di temperatura, il contenuto in acqua nei materiali di partenza deve essere molto superiore al 45%. Matrici organiche troppo secche, per essere avviate direttamente al compostaggio possono essere mescolate con substrati, eccessivamente umidi, in modo tale da riuscire a raggiungere valori di umidità intorno al 50-60%.

E' necessario comunque, mantenere per tutto il corso del compostaggio, l'umidità al di sopra dei limiti necessari per l'evoluzione del processo, poiché l'eccessiva disidratazione del substrato potrebbe portare erroneamente ad interpretare il declino dell'attività microbica, come segno di avvenuta stabilizzazione (il materiale così ottenuto sarebbe stabilizzato solo dal punto di vista fisico, ovvero disidratato).

3.2.3.5 Concentrazione e rapporto dei nutrienti nella biomassa

Carbonio (C), azoto (N), fosforo (P) e potassio (K) sono gli elementi nutritivi principali, richiesti dai microrganismi coinvolti nel processo di compostaggio (in particolare il carbonio come fonte di energia e l'azoto per sintetizzare le proteine). Azoto, fosforo e potassio sono inoltre i principali nutrienti delle piante e perciò la loro concentrazione influenza anche la qualità del compost prodotto. E' però soprattutto la quantità di carbonio e azoto nelle biomassa, che ne influenza la stabilizzazione. In generale i microrganismi utilizzano, per le reazioni energetiche e la crescita, carbonio in misura circa venti volte superiore rispetto all'azoto. Ne consegue che è importante la presenza di C e N in appropriate proporzioni. Tali proporzioni vengono espresse dal rapporto C/N, che è un indice di controllo dell'attività microbica nell'ambito del processo di compostaggio. Le matrici organiche da inviare al compostaggio dovrebbero avere un rapporto C/N compreso tra 20:1 e 30:1 per garantire un andamento ottimale del processo. Tuttavia, in certi casi, si possono ottenere prodotti accettabili anche con rapporto C/N fino a 40:1. Con rapporti C/N inferiori a 20:1, il carbonio disponibile è completamente utilizzato, senza che tutto l'azoto sia stato stabilizzato, con conseguente perdita di quest'ultimo in atmosfera sotto forma di ammoniaca o ossido nitroso, causando emissioni maleodoranti. Substrati di partenza con rapporto C/N superiore a 40:1 richiedono tempi di compostaggio lunghi, dovuto a un rallentamento dell'attività microbica e quindi della decomposizione.

La miscelazione di residui verdi e ligno-cellulosici, ricchi di carbonio, con fanghi di depurazione, agro-alimentari o rifiuti organici provenienti dalla raccolta urbana differenziata, a elevato contenuto di azoto, garantisce un buon equilibrio tra elementi e le condizioni per una corretta gestione del processo biologico.

3.2.3.6 pH

Il compostaggio è relativamente poco sensibile al pH dei substrati di partenza, questo in virtù dell'ampia varietà di microrganismi associati ai materiali e coinvolti nelle reazioni. Tuttavia i valori ottimali di pH sono compresi tra 6,5 e 8, anche se la naturale capacità tampone del processo rende possibile l'impiego di substrati con pH compresi in un range ben più ampio. In effetti il compostaggio può innescarsi in matrici acide (pH intorno a 5,5), ma anche alcaline (pH fino a 9).

Nel materiale in corso di compostaggio, il pH varia con l'avanzare del processo. Nei primi stadi del processo, infatti, il rilascio di acidi organici può abbassare il pH, successivamente nelle fase termofila, la produzione di ammonio (NH_4OH) nel mezzo porta ad un aumento del pH, fino a una nuova diminuzione nella fase di finissaggio, grazie all'attività dei batteri nitrificanti, che trasformano l'ammonio in acido nitroso o nitrico. Alla fine del processo il pH tende comunque a valori prossimi alla neutralità (7-7,5).

3.2.3.7 Tempo

Il tempo necessario per trasformare le matrici organiche in compost dipende da molti fattori quali le caratteristiche della matrice organica di partenza, la temperatura, l'umidità e il tipo di aerazione. Un adeguato contenuto di umidità (50-60%), un corretto rapporto C/N (circa 25), ed un'efficace aerazione della biomassa consentono di ridurre notevolmente i tempi necessari al compostaggio (poche settimane). Al contrario scarsa umidità, rapporti C/N alti (> 40), basse temperature e una insufficiente aerazione possono decisamente rallentare il processo.

In generale, la completa biostabilizzazione delle matrici organiche putrescibili, sottoposte a compostaggio, in condizioni favorevoli, si realizza non prima di otto settimane. In caso di scarso controllo del processo i tempi si allungano sensibilmente.

3.2.4 Indici di evoluzione del processo

Al fine di assicurare la qualità del compost prodotto, ma anche di minimizzare le problematiche legate alla produzione di emissioni maleodoranti e di ridurre l'usura delle attrezzature utilizzate, è necessario che il processo di compostaggio sia attentamente seguito e controllato, soprattutto quando questo viene svolto tramite tecnologie impiantistiche (biotunnel, biocelle ecc), che

consentano il monitoraggio e la regolazione in continuo, tramite software dei parametri di processo. A tal proposito assumono particolare importanza gli indici di evoluzione del processo, ovvero grandezze misurabili o calcolabili, che permettono di desumere lo stato di avanzamento della biodegradazione. Tra questi si riportano ovviamente la temperatura, l'umidità e il pH, ma anche l'indice di respirazione dinamico. Focalizzando l'attenzione sull'**indice di respirazione dinamico (IRD)**, essendo gli altri parametri già stati descritti nel paragrafo precedente (3.2.3), questo rappresenta una stima del consumo di ossigeno e quindi, dell'attività metabolica dei microrganismi. Può essere calcolato in laboratorio mediante prove respirometriche, oppure stimato a partire dalla concentrazione di CO₂ o di O₂ dell'aria, che si libera dal cumulo. Il consumo di ossigeno dipende dal quantitativo e dal tipo dei solidi volatili (SV) presenti nella massa sottoposta a maturazione e dalla conseguente presenza di biomassa attiva e può raggiungere e superare 0,5 m³/kg SV • giorno; il consumo cresce all'aumentare dell'umidità e può essere regolato mediante monitoraggio dell'O₂ residuo nei gas rilasciati. Poiché un compost maturo è caratterizzato da valori dell'IRD pari o inferiori a 1000 mg O₂/kg SV h, osservando i valori di tale indice è possibile valutare la corretta evoluzione di quest'ultimo. Essendo l'IRD una misura dell'attività biologica e quindi una misura del contenuto di frazioni prontamente degradabili, ecco che lo stesso parametro potrà essere utilizzato anche come indice di produzione potenziale di odori. In tal senso la produzione di odori sarà maggiore per biomasse caratterizzate da IRD superiori (bassa stabilità biologica) e viceversa. Inoltre, poiché il contenuto in microrganismi patogeni (Salmonella, Streptococchi fecali, Enterobacteriaceae totali) è un parametro estremamente importante nella valutazione della qualità del prodotto dal punto di vista igienico sanitario per un sicuro utilizzo in agricoltura o per l'allocazione delle frazioni organiche stabilizzate in discarica, anche in questo ambito l'analisi della stabilità biologica, tramite determinazione dell'indice di respirazione dinamico può aiutare a meglio comprendere il grado di qualità del compost, in quanto elevate stabilità biologiche sono correlabili direttamente ad un basso contenuto di tali microrganismi patogeni.

Nel Grafico 3.1 è riportata, a titolo di esempio, una serie di risultati per l'IRD, ottenuti da quattro cicli di bioossidazione eseguiti in biocelle statiche, utilizzando una miscela costituita da FORSU, fanghi e verde ed effettuando a metà fase un'operazione di scarico della biocella, un'operazione di rivoltamento, miscelazione ed umidificazione e un successivo carico in biocella fino al termine della bioossidazione, a testimonianza di come questo parametro possa in effetti efficientemente descrivere l'evoluzione di un processo di compostaggio. Dall'analisi dei risultati è evidente come l'evoluzione del processo abbia seguito un andamento corretto, in quanto l'IRD è diminuito da valori di oltre 5000 mg O₂/kg SV h a valori inferiori a 500 mg O₂/ kg SV h, a testimonianza dell'avvenuta stabilizzazione del materiale, anche grazie al mantenimento dei livelli ottimali di

umidità, necessari a garantire l'attività degradativa dei microrganismi (contenuto di umidità tra 40% e 65%) (Grafico 3.1, Grafico 3.2).

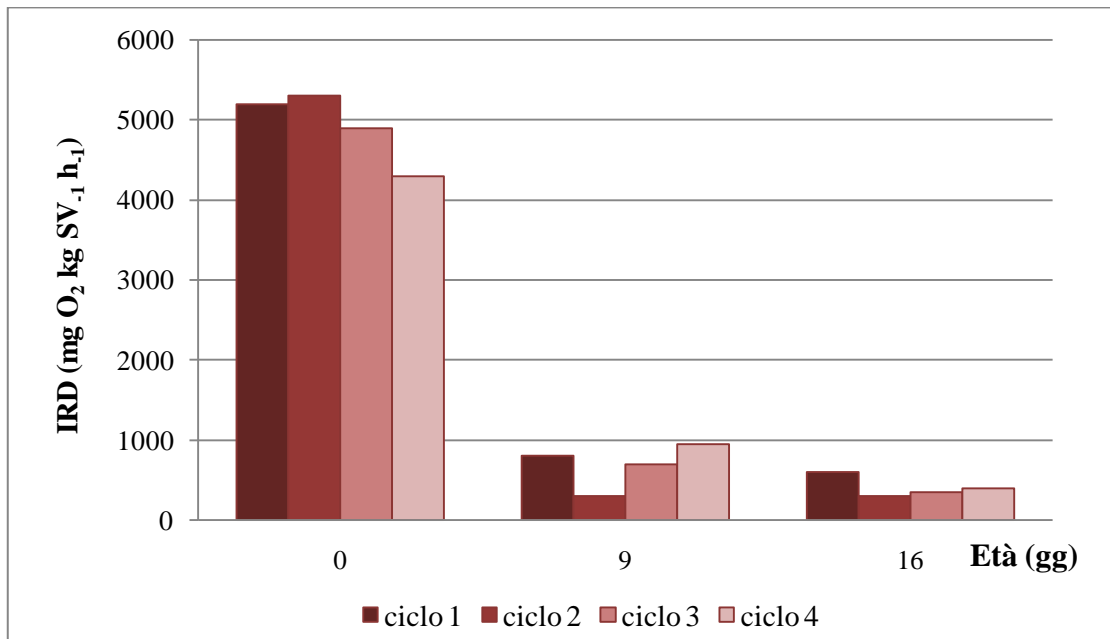


Grafico 3.1: Andamenti dell'IRD in quattro cicli di bioossidazione in biocelle statiche con rivoltamento intermedio (Fonte: Arpav – Osservatorio Regionale Compostaggio)

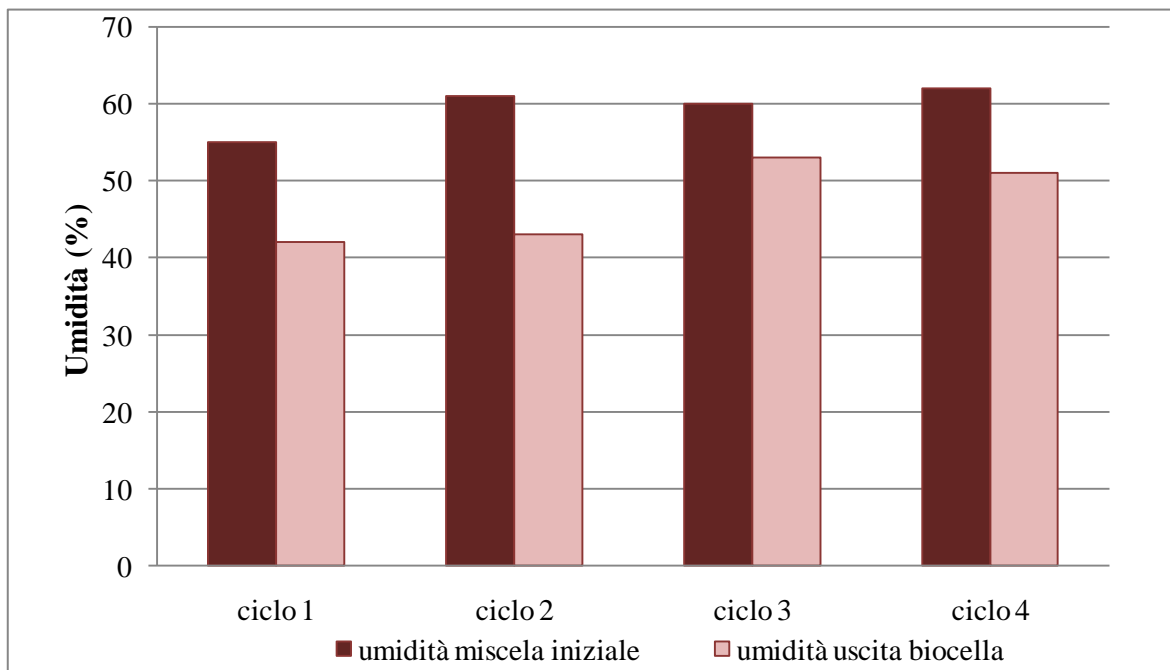


Grafico 3.2: Andamento dell'umidità nel caso di biocelle statiche, ove previsto rivoltamento e bagnatura manuale dei cumuli (Fonte ARPAV- Osservatorio Regionale Compostaggio)

Nel caso invece non vi sia né rivoltamento, né bagnatura del materiale, risulta evidente, come si può notare nei grafici seguenti (Grafico 3.3, Grafico 3.4), la difficoltà nella stabilizzazione (IRD largamente superiore 1000 mg O₂/kg SV h a fine bioossidazione), a causa di un'elevata perdita del

contenuto d'acqua nel materiale, che determina la diminuzione dell'attività microbologica e di conseguenza un rallentamento del processo di stabilizzazione.

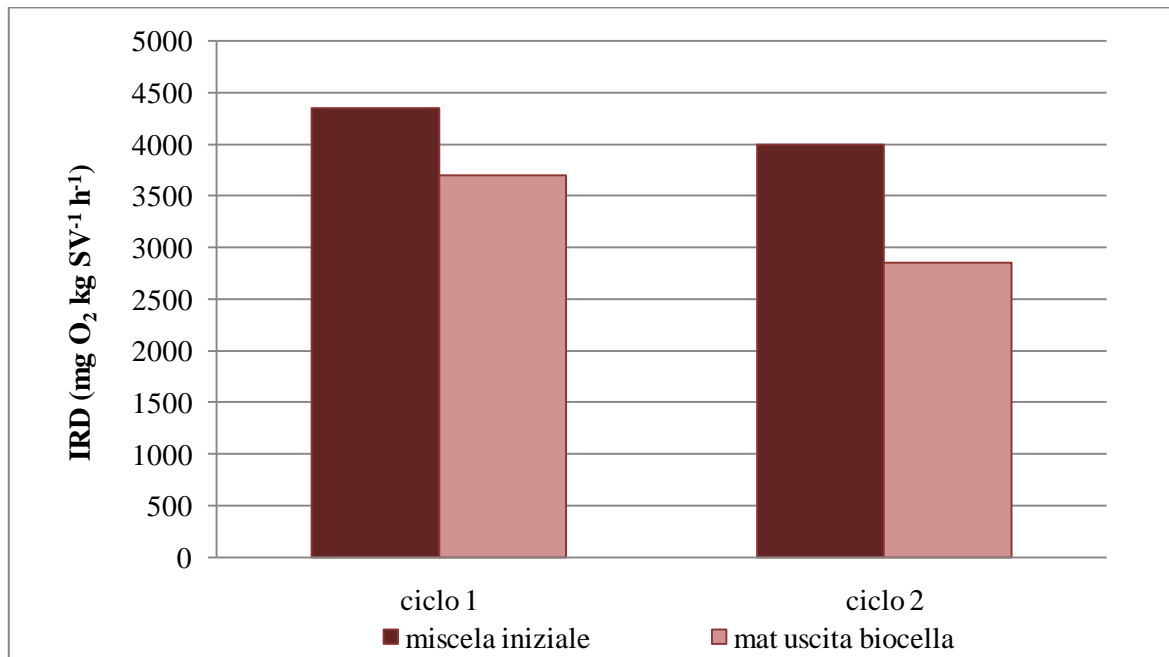


Grafico 3.3: Risultati di due cicli effettuati per il monitoraggio della bioossidazione con biocelle statiche
(Fonte: Arpav – Osservatorio Regionale Compostaggio)

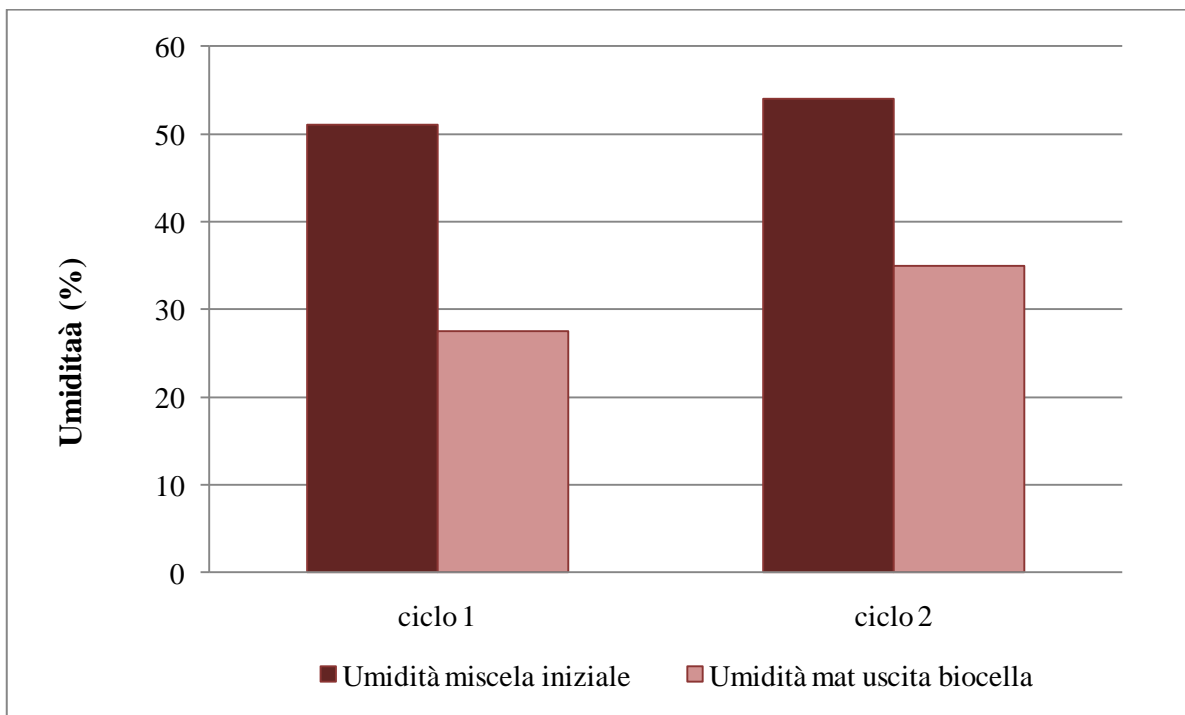


Grafico 3.4: Andamento dell'umidità in biocelle statiche
(Fonte: Arpav - Osservatorio Regionale Compostaggio)

L'IRD fornisce anche una misura del grado di stabilità biologica della sostanza organica e viene quindi anche utilizzato come parametro di riferimento nelle normative di settore, per la determinazione dell'idoneità di un compost ai differenti utilizzi agronomici (vedi paragrafo 4.3).

3.2.5 I metodi di compostaggio

Nel paragrafo di seguito vengono analizzate le principali tecnologie impiantistiche adottate per il processo di compostaggio, sia per la fase di biossidazione sia per quella di maturazione. Poiché, come già largamente discusso, il fine del compostaggio è la biostabilizzazione aerobica della biomassa organica, la condizione necessaria per garantire un rapido ed efficiente decorso del processo è la presenza di ossigeno nelle matrici in trasformazione. Il metodo di compostaggio determina il modo con cui questa necessità viene soddisfatta. La tecnologia adottata influisce inoltre su altri aspetti del processo, come le modalità di controllo dei parametri indicatori di processo, la movimentazione del materiale, il controllo delle emissioni maleodoranti e il tempo di stabilizzazione.

Per quanto riguarda le tecnologie adottate nella fase di biossidazione, si riportano:

- tecnologia a biocelle statiche;
- tecnologia a biocelle dinamiche;
- tecnologia a platea insufflata;
- tecnologia a bacino/corsie;
- tecnologia a cilindri rotanti;
- tecnologia a biotunnel;
- tecnologia a cumuli periodicamente rivoltati
- tecnologia a cumuli statici aerati.

Mentre per la fase di maturazione si prevede in genere la disposizione del materiale in cumulo, all'aperto o all'interno di capannoni, cercando di rendere tale fase il meno onerosa possibile.

3.2.5.1 Tecnologia a biocelle statiche

Le biocelle statiche sono costituite da box costruiti in cemento armato, completamente chiusi e impermeabili, a forma di parallelepipedo, all'interno dei quali il materiale, caricato mediante pala meccanica, subisce il processo di trasformazione aerobica ed in particolare la fase di biossidazione accelerata, sotto un costante monitoraggio della concentrazione di ossigeno, della portata dell'insufflazione, dell'umidità dell'aria e della temperatura. Questo sistema permette di ottimizzare il processo di degradazione della sostanza organica putrescibile, riducendone i tempi di trattamento che risultano in media pari a due settimane. Le arie esauste vengono in parte riciclate all'interno

delle biocelle e in parte convogliate prima a uno scrubber ad acqua, poi a un biofiltro per essere successivamente immesse in atmosfera. La tecnologia a biocelle statiche dispone di un sistema automatizzato per la regolazione dell'insufflazione e il monitoraggio dei principali parametri di processo, ma presenta la problematica di provocare un eccessivo essiccamento della biomassa, in quanto i sistemi automatici di ripristino dell'umidità non sono in grado di soddisfare il fabbisogno d'acqua. Gli impianti hanno pertanto sviluppato diverse misure migliorative, come ad esempio l'aggiunta di una fase successiva di rivoltamento meccanico in cumulo e umidificazione oppure l'aggiunta di un'operazione di scarico della biocella a metà ciclo, rivoltamento e bagnatura e nuovo carico in biocella fino alla fine della bioossidazione. La fase accelerata ha una durata di 10-14 giorni e una durata totale del trattamento di circa 21 giorni.

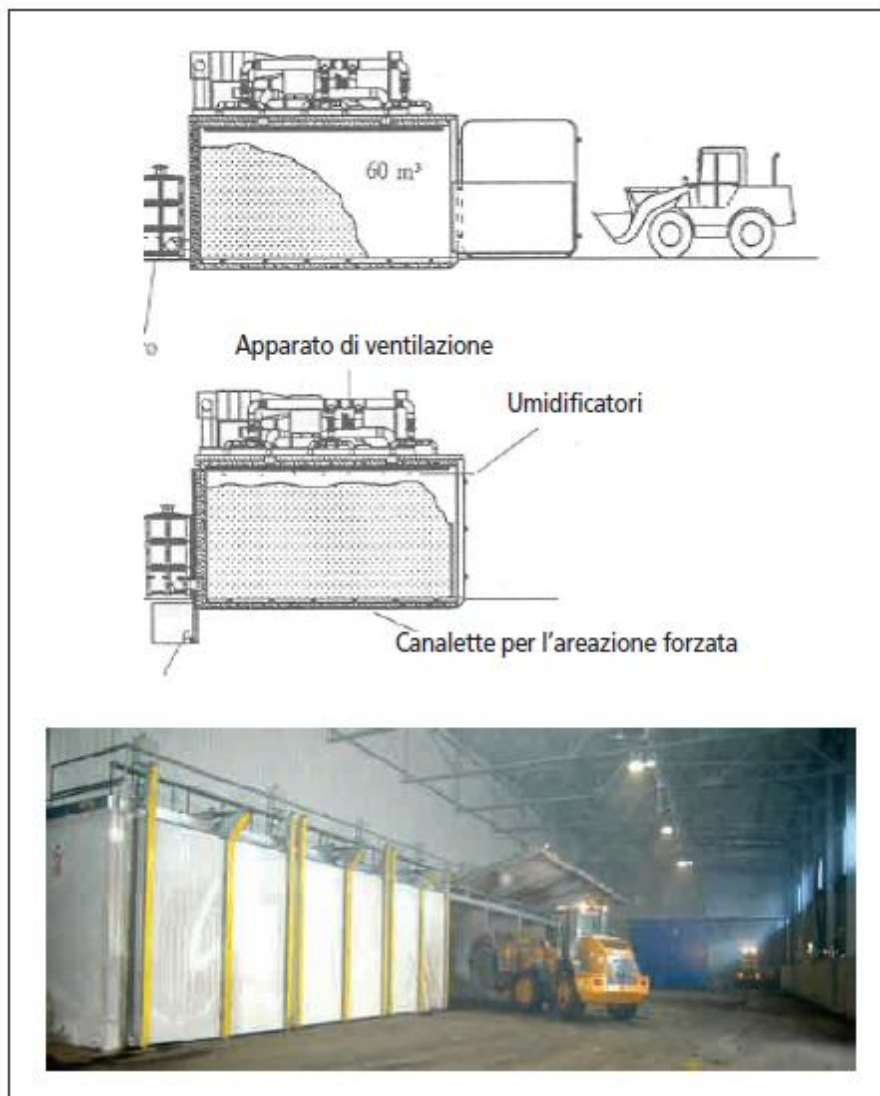


Figura 3.10: : Modalità di caricamento e funzionamento delle biocelle statiche

3.2.5.2 Tecnologia a biocelle dinamiche

La tecnologia delle biocelle dinamiche cerca di unire i vantaggi delle biocelle statiche ai vantaggi dei sistemi meccanici di rivoltamento. Si tratta di container in acciaio inox, alimentati mediante trasportatori a coclea e dotati di un fondo mobile che permette l'avanzamento del materiale in trasformazione dalla zona di carico all'estremità opposta dove una coclea lo riporta nuovamente alla zona di carico della biocella, con questa modalità il materiale viene rivoltato più volte e ritrattato nella biocella per diversi cicli (in media 3) prima di essere scaricato definitivamente e avviato alla successiva fase di maturazione, per una durata totale della bioossidazione compresa tra 9 e 14 giorni. Questa tecnologia garantisce un buon rimescolamento del materiale permettendo un'umidificazione omogenea su tutta la matrice.

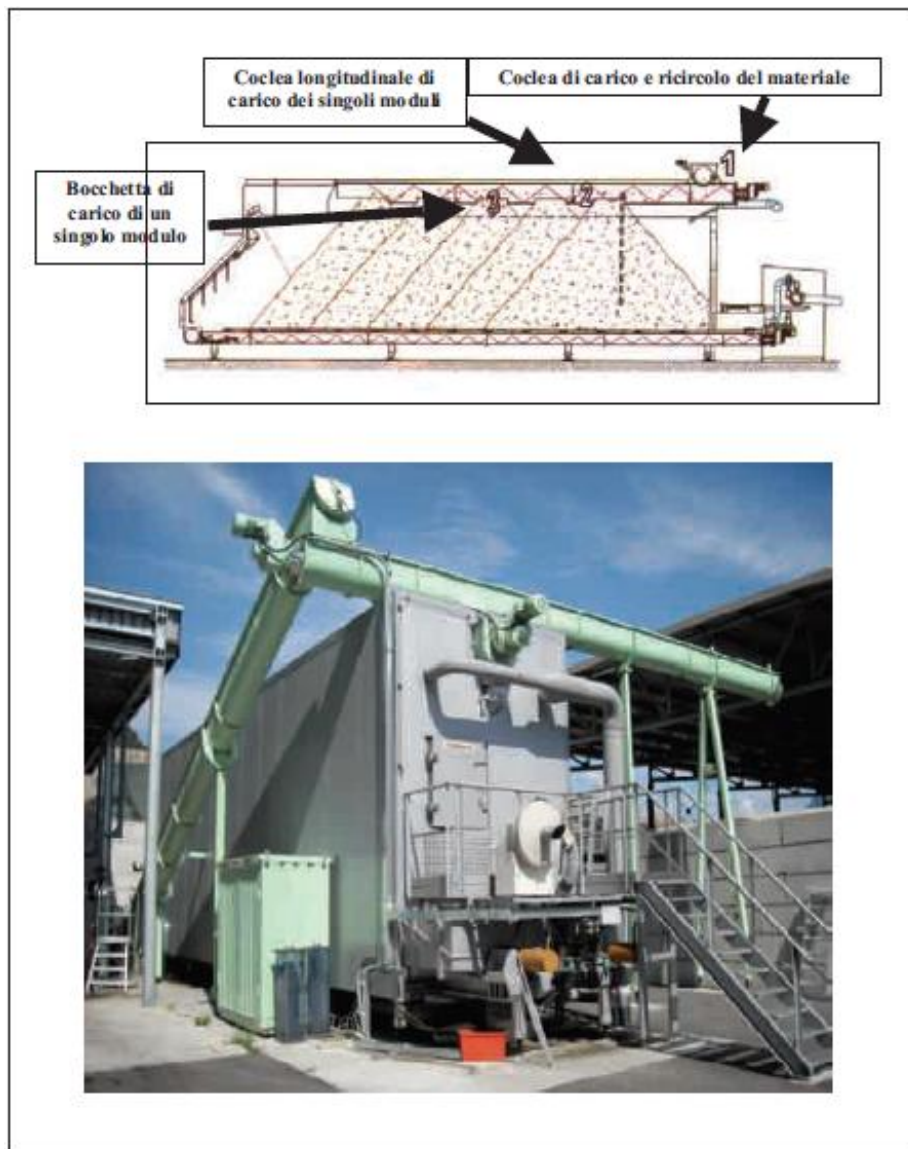


Figura 3.11: Schema di funzionamento della biocella dinamica

Tuttavia nei periodi più freddi le frequenti movimentazioni e le conseguenti perdite di calore dalla massa, limitano il raggiungimento di temperature elevate. I parametri di processo possono essere monitorati da remoto per una gestione automatizzata che regola inoltre i sistemi di aerazione e la raccolta dei percolati. Vanno tuttavia evidenziati due aspetti critici legati in primo luogo alla presenza di strutture meccaniche complesse che provocano un aggravio dei costi di produzione e di gestione e in secondo luogo all'utilizzo di coclee che impediscono l'impiego di materiale strutturante di pezzatura grossolana, con il risultato di dover utilizzare una miscela molto compressa e pressata con tendenza all'impaccamento e alla formazione di corsie preferenziali.

3.2.5.3 Tecnologia a platea insufflata

Questa configurazione impiantistica prevede la realizzazione, all'interno di capannoni chiusi e mantenuti in depressione, di platee dotate sul fondo di apposite condotte attraverso le quali viene insufflata l'aria necessaria per la bioossidazione e avviene la raccolta dei percolati. Le operazioni di caricamento del materiale sono svolte mediante pale meccaniche mentre le operazioni di rivoltamento, eseguibili anch'esse con pale meccaniche, sono effettuate con apposite macchine rivoltatrici.



Figura 3.12: Esempi di platea insufflata e di rivoltatrice utilizzata

Il materiale da trattare è disposto in cumuli longitudinali di altezza compresa tra 2 e 2.80 metri, i quali vengono traslati nel corso dei rivoltamenti; durante questa operazione viene anche effettuata la bagnatura dei cumuli mediante irrigatori fissi. Le macchine rivoltatrici eseguono il rivoltamento longitudinalmente lungo il cumulo oppure lateralmente. Il processo di bioossidazione ha una durata compresa tra 2 e 3 settimane, durante le quali può essere variato il numero di rivoltamenti (in media 3 a settimana) al fine di ottimizzare il processo di stabilizzazione. Il sistema a platea, pur essendo efficace e gestibile, non permette tuttavia un monitoraggio e un'automazione di livello pari a quello ottenibile mediante l'uso delle biocelle, e pertanto in questo caso risulta più difficoltoso applicare i processi di controllo e gestione, essendo necessaria la presenza dell'operatore all'interno del capannone durante i trattamenti e i rilievi dei parametri indicatori del processo.

3.2.5.4 Tecnologia a bacino/corsie

Le corsie o bacini sono compartimenti delimitati da muratura, serviti da macchine rivoltatrici automatizzate e da sistemi di aerazione, che prevedono un apparato diffusore, sistemato all'interno di canalette, sul pavimento delle corsie/bacini. Questo sistema impiantistico utilizza appunto una rivoltatrice, che si sposta lungo rotaie montate su muretti che separano le diverse corsie (impianti a corsie), o mediante una rivoltatrice mobile montata su un carro ponte (impianti a bacino). I cumuli hanno una larghezza compresa tra i muretti divisorii di 2-10 metri nel caso delle corsie, fino a 33 metri nel caso dei bacini e un'altezza compresa tra 1.5 e 3 metri.



Figura 3.13: Impianto a corsie



Figura 3.14: Impianto a bacino

Analogamente al sistema a platea, il materiale viene umidificato preferibilmente durante la fase di rivoltamento, in modo da ottenere una distribuzione dell'acqua più uniforme, mediante sistemi automatizzati.

Per quanto riguarda le corsie, il rivoltamento avviene longitudinalmente lungo il cumulo. Ad ogni passaggio (effettuato sempre nello stesso senso di marcia) tutto il materiale viene trasferito lungo la corsia e in tal modo la miscela, introdotta all'estremità di carico, dopo un determinato numero di rivoltamenti giunge all'estremità opposta, di scarico, avendo subito una prima stabilizzazione biochimica che ne rende possibile il successivo trattamento di maturazione.

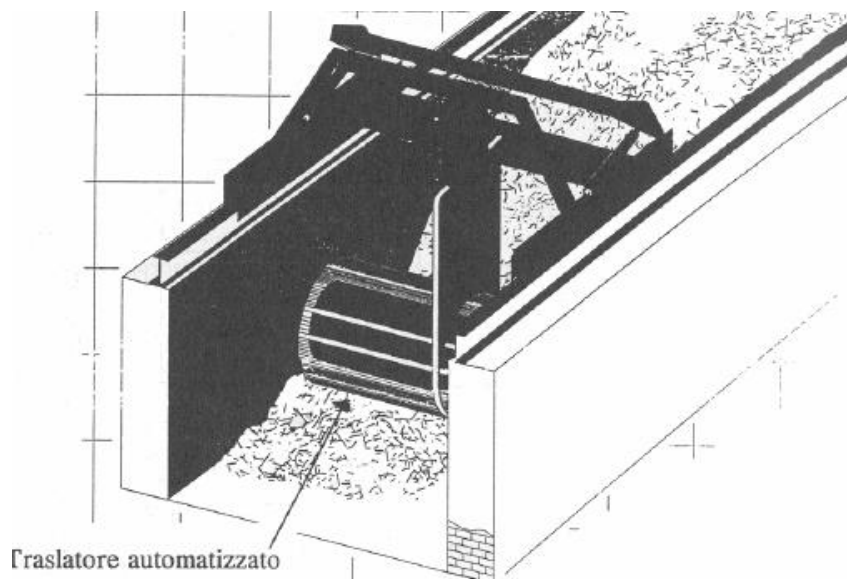


Figura 3.15: Esempio di macchina rivoltatrice per gli impianti a corsia

Nei sistemi a bacini viene applicato lo stesso principio delle corsie a ciclo continuo, ma con trasferimento del materiale mediante macchine portate su carroponete. L'apparato traslatore percorre il bacino per tutta la sua larghezza, asportando al suo passaggio una sezione di cumulo (nell'ordine dei 20 cm) trasferendola posteriormente. Il carroponete guida sia la traslazione laterale della macchina sia l'avanzamento lungo il bacino. Le matrici da trattare vengono disposte in cumulo ad una estremità del bacino mediante nastri trasportatori; ad ogni rivoltamento il materiale viene trasferito per una lunghezza variabile (regolabile con l'estensione dei nastri di scarico) finché dopo un numero prestabilito di rivoltamenti in un tempo prefissato giunge all'estremità opposta del bacino. Mediante un ulteriore passaggio del traslatore la massa viene trasferita su nastri trasportatori ed avviata all'eventuale fase di maturazione o ai trattamenti finali.



Figura 3.16: Esempio di carroponete per sistema a bacino

Come già accennato entrambe le tipologie di impianto sono servite da sistemi di aerazione forzata delle masse, l'aria esausta di processo unitamente a quella dei capannoni viene avviata a trattamento.

La capacità del sistema dipende dal numero e dalla dimensione delle vasche, mentre il tempo di ritenzione varia dai 21 ai 28 giorni. In generale questo sistema si è rivelato efficace per il compostaggio di matrici ad elevato contenuto di umidità e presenta inoltre un elevato grado di automazione e la quasi totale assenza di operatori all'interno delle aree di bioossidazione durante le fasi di lavorazione, eccetto che per il monitoraggio dei parametri indicatori (temperatura e umidità del materiale). Tuttavia risulta un sistema rigido, che non permette consistenti variazioni nelle modalità e nelle tempistiche del processo di bioossidazione.

3.2.5.5 Tecnologia a cilindri rotanti

Si tratta di grandi cilindri, disposti orizzontalmente, su ingranaggi che ne consentono un lento movimento rotatorio. L'alimentazione del substrato avviene tramite una tramoggia, posta ad una estremità del cilindro. La matrice organica, a seguito del movimento rotatorio, viene miscelata e

spinta attraverso tutta la lunghezza del cilindro, fino all'estremità opposta a quella di carico, dove poi viene scaricata. L'aria entra dall'estremità di scarico e percorre il cilindro in senso contrario rispetto al procedere del substrato. La velocità di rotazione e il grado di inclinazione dell'asse del cilindro determinano il tempo di ritenzione del materiale caricato. Questi cilindri sono molto costosi e poiché gran parte del processo di compostaggio avviene comunque all'esterno, è possibile raggiungere gli stessi risultati anche con tecniche meno onerose e semplici.

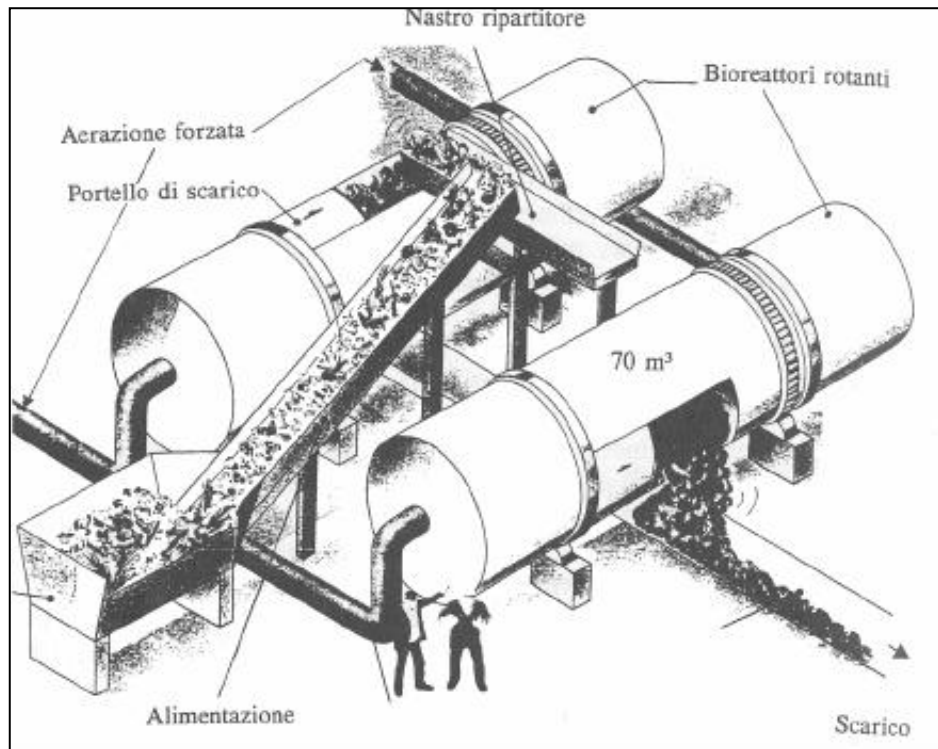


Figura 3.17: Esempio di impianto a cilindri rotanti

3.2.5.6 Tecnologia a biotunnel

Questi impianti differiscono dalle biocelle statiche perché presentano la zona di scarico e la zona di carico alle estremità opposte. Il caricamento avviene mediante nastro che introduce dall'alto la miscela di partenza all'inizio del tunnel, la quale viene successivamente fatta avanzare per mezzo di un pistone idraulico verso l'estremità opposta da cui viene prelevata mediante pala meccanica e conferita alla zona di maturazione.

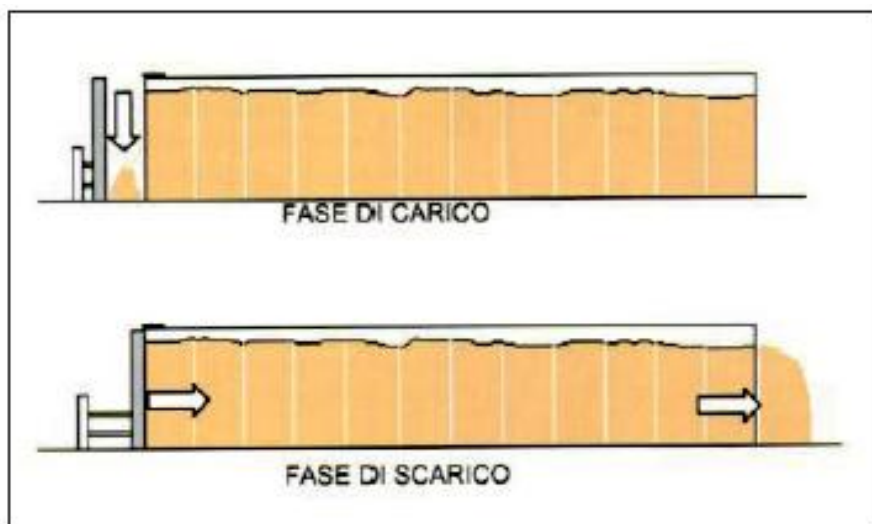


Figura 3.18: Schema di funzionamento longitudinale dell'impianto a biotunnel

Il pistone permette l'avanzamento della miscela per circa 1-2 metri al giorno, per poi ritrarsi e lasciare spazio libero a un nuovo carico dal nastro. Pertanto per avanzamenti successivi il materiale percorre tutto il tunnel, lungo circa 40 metri, nell'arco di 20-40 giorni di processo, a seconda della frequenza degli azionamenti del pistone. La ventilazione, analogamente alle biocelle, avviene attraverso pavimentazione a canali con diffusore dell'aria satura di vapore al fine di reintegrare l'umidità. Tale sistema è completamente automatizzato, dalla formazione della miscela mediante tramogge dotate di bilance, vagli e coclee, al caricamento nei tunnel e gestione del pistone, oltre che per il monitoraggio delle temperature. Tuttavia l'avanzamento a spinta idraulica del materiale tende a comprimere eccessivamente il materiale, determinando un impaccamento e la formazione di corsie preferenziali dell'aria che impediscono il corretto andamento del processo.

3.2.5.7 Tecnologia a cumuli periodicamente rivoltati

Il compostaggio secondo questo metodo si attua disponendo la matrice di partenza in cumuli, a sezione piuttosto stretta, le quali sono movimentate o rivoltate periodicamente. L'altezza delle andane varia a seconda delle caratteristiche del substrato e della macchina movimentatrice.



Figura 3.19: Tecnologia a cumuli periodicamente rivoltati

Le dimensioni dei cumuli (altezza variabile da 1 a 3 m, base da 3 a 6 m) sono determinate generalmente dalla loro porosità, in quanto se molto grandi tendono a compattarsi (con il rischio di reazioni anossiche nella parte centrale) mentre se di dimensioni ridotte perdono calore troppo velocemente (non raggiungendo le temperature richieste per l'evaporazione dell'acqua e per la distruzione di patogeni eventualmente presenti). I cumuli sono aerati principalmente grazie alle correnti d'aria (moti convettivi e diffusivi). Il ricambio d'aria all'interno della matrice dipende dalla porosità del cumulo.

Il rivoltamento

- consente il mescolamento dei materiali di partenza;
- disgrega le particelle, riducendone la pezzatura, con aumento della superficie disponibile all'attacco microbico;

- ripristina la porosità della matrice;
- facilita il rilascio del calore accumulato, del vapore acqueo e degli gas prodotti all'interno del cumulo;
- genera una variazione periodica della concentrazione di ossigeno nel cumulo, sebbene l'ossigeno apportato dalla movimentazione nei vuoti venga rapidamente consumato dai microrganismi.

Il rivoltamento permette inoltre la ricollocazione dei diversi strati della matrice lungo il profilo del cumulo. In tal modo il materiale in superficie viene rimpiazzato da quello delle zone interne e ciò permette, nel corso del processo, un'uguale esposizione di tutta la matrice sia all'atmosfera esterna sia alle alte temperature dell'interno del cumulo. Così la biomassa subisce una più omogenea stabilizzazione ed una sufficiente igienizzazione.

La frequenza dei rivoltamenti dipende dal tasso di decomposizione, dal contenuto di umidità e dalla porosità del substrato.

Con il progredire del processo, le dimensioni dei cumuli diminuiscono e si rende quindi necessario la fusione di due o più cumuli in uno unico, in modo da impedire l'eccessiva dissipazione del calore. Con questo metodo, la fase di compostaggio attivo dura solitamente da tre a nove settimane a seconda della natura del substrato di partenza e della frequenza dei rivoltamenti.

3.2.5.8 Il compostaggio in cumuli statici aerati

Questo metodo elimina la necessità di movimentare il materiale in compostaggio, rendendo possibile l'aerazione attraverso l'insufflazione d'aria in appositi sistemi di tubi diffusori. Nell'ambito di questo metodo di compostaggio si individua una importante distinzione tra sistemi con aerazione passiva e sistemi con aerazione forzata.

Cumuli statici aerati passivamente

Il compostaggio in cumuli aerati passivamente prevede il passaggio dell'aria attraverso la matrice in trasformazione tramite un apparato di tubi forati, immersi nel cumulo stesso, che terminano all'esterno con estremità aperte. L'aria si diffonde all'interno dei cumuli, fluendo dall'esterno. I cumuli non devono essere più alti di 1-1,2 metri e ricoperti, in superficie, con uno strato di compost maturo o paglia, con funzioni coibentanti e di adsorbimento delle emissioni maleodoranti.

È inoltre necessario miscelare bene il substrato di partenza, per renderlo più omogeneo possibile e dotarlo di un'adeguata tessitura, poiché il cumulo, una volta disposto, non verrà più movimentato, se non a fine del processo.

Per quanto riguarda i tubi, questi vengono disposti, con i fori rivolti verso il basso per evitare eventuali ostruzioni, sul basamento che ospiterà poi il cumulo. A processo terminato, i tubi vengono poi sfilati dalla matrice.

Cumuli statici con aerazione forzata

A differenza dei cumuli aerati passivamente, in questo metodo di compostaggio vengono impiegati apparati, che costringono l'aria a fluire forzatamente attraverso la matrice. Tali apparati consentono anche un maggior controllo del processo. Con la tecnica dell'aerazione forzata, i substrati di partenza vengono sistemati in cumulo, su uno strato di scaglie di legno o paglia o materiale poroso, che ospita i tubi di aerazione, opportunamente forati. Tali tubi vengono poi collegati ad un ventilatore, che può aspirare aria oppure spingerla attraverso la matrice. Per garantire un'uniforme diffusione i cumuli non devono superare i 2,5 metri di altezza. Il rifornimento d'aria può avvenire in due modi: o tramite aspirazione dalla superficie o tramite insufflazione forzata.

Nei cumuli "aspirati" viene creata una depressione, grazie al ventilatore che in questo caso funge da aspiratore. In questo modo l'aria richiamata dalla superficie esterna viene fatta fluire attraverso il cumulo ed esausta, viene poi veicolata all'esterno, verso un sistema filtrante, tramite il sistema di tubi. Tale metodo presenta però alcuni inconvenienti, tra cui una ridotta evaporazione, che causa una minore dissipazione del calore e quindi un cattivo controllo della temperatura.

Nel sistema per insufflazione invece, il ventilatore funge da soffiante, creando così una pressione positiva all'interno del cumulo, la quale spinge l'aria esausta verso l'esterno e la sostituisce con quella fresca, diffusa dal sistema di tubi.

Questo metodo rappresenta, tra le diverse alternative di compostaggio in cumuli statici, il migliore dal punto di vista della gestione del processo, poiché l'insufflazione rende in effetti possibile un miglior controllo della temperatura e una maggiore dissipazione del calore. In questo caso i ventilatori possono operare sia in continuo che in discontinuo. Per quanto riguarda l'insufflazione in continuo, questa può causare problemi di disidratazione nelle porzioni di cumulo più vicine ai tubi e questo può a sua volta provocare il blocco dell'attività dei microrganismi. Con le soffianti operanti ad intermittenza, invece, le temperature nelle diverse sezioni del cumulo, tendono ad equilibrarsi tra un turno di insufflazione e il successivo. In particolare si ricorre all'utilizzo di timer per la gestione degli intervalli di funzionamento delle soffianti. Un sistema che consente un controllo ancora più stretto dell'andamento della temperatura, sebbene con l'insufflazione a intermittenza si raggiungano già buoni risultati, è quello che assoggetta il funzionamento delle soffianti alla temperatura stessa. Quindi attraverso un sensore termico, disposto all'interno del cumulo, viene rilevata la temperatura nella matrice, e quando questa supera un certo valore (normalmente 55°C) una centralina, a cui è

collegato un termostato che riceve il segnale dal sensore, mette in moto le soffianti. Alle temperature inferiori a quelle impostate sul termostato, le soffianti agiscono comunque secondo un programma di tempi regolati da un timer.

In generale la tecnologia dei cumuli (sia rivoltati che statici) viene impiegata per il trattamento degli scarti verdi, poiché per questo tipo di matrice, che presenta un ridotto grado di putrescibilità, inferiore a quello della FORSU e dei fanghi, la normativa non prevede, entro certi limiti, l'obbligo del trattamento in aree confinate, chiuse e mantenute in depressione con il successivo trattamento delle arie esauste (paragrafo 2.2).

In conclusione si riportano in Tabella 3.3 i principali sistemi tecnologici adottabili e le diverse tipologie di matrici, a cui meglio si adattano.

SISTEMA	VANTAGGI	MATRICI
Chiuso	Maggior efficacia dei presidi ambientali; Controllo delle condizioni di processo	Matrici ad elevata putrescibilità
Aperto	Minori costi di costruzione e gestione	Matrici a bassa putrescibilità
Dinamico	Rimescolamento della biomassa con riproduzione delle condizioni ottimali di porosità e struttura della matrice	Matrici a bassa percentuale di strutturante (tendenti all'autocompattamento)
Statico	Ridotta e più dissipazione dell'umidità	Matrici con buon grado di strutturazione
Aerazione Naturale	Economicità	Matrici a bassa fermentescibilità ed a elevata porosità
Aerazione Forzata	Aerazione ottimale della biomassa	Matrici ad elevata fermentescibilità e scarsa porosità

Tabella 3.3: Principali sistemi tecnologici adottabili

Per quanto riguarda la fase di maturazione, poiché in tale fase, la richiesta di ossigeno da parte dei microrganismi rallenta, in relazione alla diminuzione dell'intensità delle reazioni di degradazione organica (come già osservato nel paragrafo 3.2.2), anche il numero di rivoltamenti e di arieggiamenti è inferiore rispetto alla fase di bioossidazione. Per questa fase, la normativa consente che venga effettuata anche all'aperto e nella maggior parte degli impianti si svolge su platee non insufflate, in cui il rivoltamento è effettuato per mezzo di una pala meccanica.



Figura 3.20: Cumuli in maturazione all'aperto

È comunque possibile svolgerla anche all'interno di capannoni mantenuti in depressione, al fine di massimizzare il contenimento degli odori ed ovviare al problema di un andamento meteorologico eccessivamente piovoso o eventualmente su piazzali coperti da tettoie.



Figura 3.21: Cumuli in maturazione all'interno di capannoni in depressione



Figura 3.22: Cumuli in maturazione su piazzali coperti

3.2.6 Tecnologie di abbattimento delle emissioni odorigene

La formazione ed il rilascio di odori costituisce uno dei punti più critici di un qualsiasi impianto di compostaggio. A questo proposito è importante conoscere le diverse situazioni che possono portare alla generazione di emissioni maleodoranti in modo da rendere possibili interventi di prevenzione e/o mitigazione sia a livello delle condizioni di processo, sia sulle caratteristiche delle strutture impiantistiche.

In particolare, le più comuni cause di produzione di composti maleodoranti presso un impianto di compostaggio sono le seguenti:

- prolungato accumulo di materiali freschi e altamente fermentescibili non ancora sottoposti a trattamento in aree scoperte;
- presenza di zone anaerobiche nei materiali sottoposti a trattamento per inadeguata ossigenazione;
- mancata canalizzazione e trattamento delle arie esauste odorose;
- bassa efficienza dei sistemi di abbattimento;
- mancata tenuta in depressione dei capannoni;
- fuoriuscita di arie odorose da portali (es. fosse di scarico);
- disposizione del materiale ancora fortemente odorigeno in maturazione all'aperto;
- stazionamento all'aperto di sovvalli ad elevata componente fermentescibile;
- interruzione precoce dei processi aerobici a carico di biomasse non ancora mature;
- presenza di estese pozze di percolato.

Pertanto, le fasi del processo più critiche dal punto di vista delle emissioni risultano le operazioni di pre-trattamento, nonché la fase biologica.

Per quanto riguarda il pre-trattamento, qualora le condizioni ambientali in cui si trova l'impianto non danno sufficiente garanzia circa un'efficiente e rapida diluizione degli odori in atmosfera, è necessario confinare questa fase in strutture chiuse, la cui aria interna verrà trattata prima del rilascio all'esterno.

Mentre per quanto riguarda la fase della trasformazione biologica, gli odori vengono generati sia a seguito del tipo di metabolismo microbico prevalente all'interno della matrice in trasformazione, sia come conseguenza di reazioni di natura strettamente chimica. Gli odori, inoltre, seppur dipendano, in genere, dalla presenza di composti gassosi o volatili, possono anche essere associati a micro-particelle solide, costituenti le polveri.

Sebbene l'insorgenza di emissioni maleodoranti (acidi organici, mercaptani, alcoli, ammine, idrogeno solforato) sia di solito associata al crearsi di condizioni anossiche all'interno della matrice in compostaggio, anche la corretta evoluzione delle reazioni di stabilizzazione, secondo le vie della degradazione aerobica, genera odori, in particolare per quel che riguarda la volatilizzazione dell'ammoniaca. La decomposizione delle proteine porta infatti alla formazione di ammoniaca o di ammonio attraverso il processo noto come ammonificazione. La tensione di vapore dell'ammoniaca (NH₃) è bassa e, di conseguenza questa volatilizza facilmente anche a basse temperature.

Composti contenenti Zolfo	
Idrogeno solforato	Dimetil solfuro
Disolfuro di carbonio	Dimetil disolfuro
Ossisolfuro di carbonio	Dimetil trisolfuro
Composti contenenti Azoto	
Ammoniaca	Dimetilamina
Aminometano	Trimetilamina
Acidi grassi volatili	
Acido formico	Acido propionico
Acido acetico	Acido butirrico
Chetoni	
Propanone	Butanone
Altri composti	
Etanale	Fenolo

Tabella 3.4: Composti ritenuti maggiormente responsabili delle emissioni di odori presso gli impianti di compostaggio (Fonte Williams & Miller)

Di norma le misure di prevenzione adottate presso gli impianti sono:

- riduzione dei tempi di stazionamento delle matrici in ingresso sui piazzali di scarico e di stoccaggio transitorio;
- conferimento del materiale all'impianto senza creare accumuli di matrice fresca, che non sia immediatamente preparata per la fase di compostaggio attivo;
- pronto allestimento dei cumuli, oppure il rapido trasferimento della biomassa substrato nell'eventuale bioreattore;
- verifica che la matrice in fase di compostaggio attivo sia nelle condizioni ottimali di aerazione, tali da evitare il formarsi di zone anaerobiche;
- attuazione degli eventuali turni di rivoltamento della biomassa substrato in coincidenza con venti favorevoli alla rapida diluizione e dispersione delle emissioni odorigene in direzione opposta a quella degli insediamenti civili;
- assicurare, laddove il compostaggio avvenga in cumuli statici, la copertura degli stessi con uno strato superficiale (5-10 cm) di compost maturo;
- evitare la formazione di ristagni di percolato alla base dei cumuli o al fondo del bioreattore;
- effettuare il confinamento della fase attiva di compostaggio in strutture chiuse, la cui aria possa essere captata e convogliata in speciali apparati di trattamento dei composti odorigeni.

Di fondamentale importanza sono quindi i sistemi di captazione e i successivi trattamenti dell'aria esausta, la quale possibilmente deve essere riutilizzata per l'ossigenazione della biomassa e, comunque, prima della immissione finale in atmosfera, deve essere trattata per ridurre la concentrazione di composti odorigeni e polveri.

Le principali tipologie di apparati per l'abbattimento delle emissioni odorigene, oggi adottate presso gli impianti di compostaggio, sono rappresentate essenzialmente da **biofiltri** e da **torri di lavaggio (bioscrubbers)**. Per il trattamento delle emissioni maleodoranti sono stati proposti anche l'*adsorbimento* su carbone attivo od altri materiali ad elevata capacità di trattenimento o la *combustione* dei composti odorigeni. Questi ultimi sistemi, benché risultati molto efficaci, con rese di abbattimento intorno al 99%, non hanno tuttavia trovato pratica applicazione a causa degli eccessivi costi complessivi di trattamento.

In particolare per lo schema generale di un apparato per biofiltrazione consiste nel convogliamento dell'aria contenente i composti odorigeni verso un'unità riempita con un substrato particolato filtrante, costituito da compost maturo, terreno o anche da materiale inerte, che consenta la formazione di uno strato di biomassa microbica attiva sulla superficie delle particelle. Il flusso da trattare viene finemente distribuito attraverso il mezzo filtrante mediante una rete di tubi dotati di piccoli fori di diffusione posta sul fondo del biofiltro. Per evitare l'occlusione dei fori da parte della

sovrastante colonna di matrice filtrante, la rete di tubi diffusori è, di solito, immersa in uno strato di ghiaia o altro materiale poroso, dotato di resistenza meccanica allo schiacciamento.



Figura 3.23: Esempio di biofiltro per il trattamento delle emissioni odorigene

L'aria carica di odori in entrata al biofiltro viene generalmente umidificata in modo da evitare la disidratazione del substrato biologicamente attivo (contenuto di umidità preferibilmente compreso tra 50-70 %). I composti gassosi responsabili degli odori vengono adsorbiti sulla superficie delle particelle del biofiltro, dove vengono degradati dai microrganismi colonizzatori della superficie. Questi microrganismi ossidano i composti odorigeni in anidride carbonica, acqua e forme minerali inodori di azoto e zolfo, prima che il flusso d'aria fuoriesca dal biofiltro. Da normativa deve essere garantito un tempo minimo di contatto tra aria da trattare e biomassa attiva pari a 30 secondi, mentre la temperatura dell'aria immessa deve essere preferibilmente compresa tra 10° e 45°C per rimanere nella fascia ottimale di sviluppo microbico, senza avere fenomeni di essiccamenti eccessivi.

Per quanto riguarda i bioscrubber, ancora poco diffusi rispetto ai biofiltri, questi sono costituiti generalmente da una struttura di lavaggio, dotata di un letto di corpi di riempimento ad elevato rapporto superficie/volume, attraverso cui passa l'effluente gassoso da trattare, solitamente in controcorrente rispetto al flusso di acqua che viene fatta circolare, così da garantire il massimo contatto fra fase gassosa e fase liquida. Sui corpi di riempimento, così come nell'acqua, si sviluppa biomassa microbica attiva, che degrada e ossida le sostanze odorose. I bioscrubber presentano un

rapido adattamento a variazioni di composizione del gas inquinato e consentono, inoltre, un facile controllo del processo, attraverso il monitoraggio delle caratteristiche dell'aria trattata e l'aggiunta di correttivi (regolatori di pH) e nutrienti (N,P, K) alla soluzione di lavaggio. A parità di volumi d'aria trattati, le superfici occupate dai bioscrubber sono sensibilmente inferiori a quelle richieste dalla tradizionale biofiltrazione. Analogamente ai biofiltri, anche per i bioscrubber è necessario mantenere un habitat ottimale per i microrganismi, soprattutto attraverso il controllo del pH e della temperatura, cercando di evitare di avviare al trattamento composti tossici, effettuando un corretto dimensionamento della torre di lavaggio e del sistema di irrorazione del materiale di riempimento, riducendo al minimo le perdite di carico, effettuando periodici controlli di processo per evitare malfunzionamenti. Al fine di evitare la formazione di zone asciutte e di intasamenti, deve essere garantita l'uniformità di distribuzione della soluzione di lavaggio sui corpi di riempimento. Inoltre, deve essere previsto un adeguato scarico della soluzione assorbente saturata e reintegro con acqua pulita per evitare la formazione di eccessi di sali e di depositi biologici, che possono portare a malfunzionamenti.



Figura 3.24: Esempio di bioscrubber per trattamento emissioni odorigene

4 Compost di qualità

Poiché in passato la commercializzazione e l'utilizzo del compost hanno sofferto di un clima di diffidenza, che non ha permesso un adeguato sviluppo a tale prodotto, si è resa necessaria nel tempo la sua valorizzazione attraverso un sistema di certificazioni, con lo scopo di garantirne agli utilizzatori la qualità, ai fini del suo impiego in agricoltura.

Quando si parla di qualità del compost è necessario considerare sia i parametri che ne definiscono la **qualità agronomica**, riferita ai contenuti di micro e macro nutrienti e alle caratteristiche fisiche e di stabilità del materiale e che ha effetti sia sulla fertilità chimica che su quella fisica di un terreno, sia le caratteristiche di **compatibilità ambientale**, legate soprattutto alla presenza di elementi potenzialmente inquinanti, come per esempio metalli pesanti.

In questo capitolo verranno illustrati i parametri di qualità del compost per l'utilizzo in agricoltura, i metodi per la determinazione della stabilità biologica, gli eventuali campi d'impiego e i benefici derivanti. Si farà inoltre riferimento alla certificazione di qualità del CIC (Consorzio Italiano Compostatori) e al ruolo che essa riveste nell'affermazione del compost sul mercato.

4.1 Parametri di qualità del compost: qualità agronomica

L'utilizzo di un compost di elevata qualità, proveniente da matrici selezionate, contribuisce a mantenere e migliorare le proprietà del terreno, apportandovi **elementi di fertilità**, ovvero tutti quei componenti dei compost, che sono in grado, qualora siano somministrati a un terreno, di migliorarne le caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche. Di seguito saranno analizzati i motivi per cui è necessario nei suoli un buon tenore di tali elementi di fertilità, al fine di incrementare la produzione agraria, ed il possibile ruolo che il compost può svolgere in tale ottica.

In particolare si individuano sia fattori di **fertilità chimica**, come sostanza organica ed altri elementi nutritivi (azoto, fosforo, potassio), sia fattori di **fertilità fisica**, spesso trascurati, ma in realtà molto importanti, che si traducono in una buone proprietà strutturali del terreno.

4.1.1 Elementi di fertilità chimica

4.1.1.1 La sostanza organica

Parlando di fertilità chimica, la sostanza organica ne è senz'altro l'elemento principale. Per sostanza organica si intende l'insieme di tutti i tessuti animali e vegetali, sia viventi che a diverso grado di decomposizione, presenti nel terreno. Tali sostanze sono soggette in natura a continui processi sia di degradazione in composti più semplici, sia di sintesi in composti di complessità superiore. Il

prodotto finale della trasformazione di tutti i residui organici nel terreno, sono sostanze umiche, caratterizzate da un rapporto C/N di circa 10. A causa del prevalere di reazioni di degradazione su quelle di sintesi, sono necessarie periodiche aggiunte al terreno di materiali organici, per garantire la presenza di una certa quantità di sostanza organica, che, ultimamente, anche a causa delle moderne pratiche agronomiche ha subito una forte diminuzione, con grave pregiudizio per la fertilità. Da qui, qualsiasi tipo di intervento esterno volto alla reintegrazione di materiale organico nel suolo, come può essere l'utilizzo di compost di qualità, non può che essere visto favorevolmente. In particolare l'interesse per il compost è legato soprattutto al suo valore come ammendante, ovvero materiale in grado di modificare le proprietà fisiche (struttura, capacità di trattenere l'acqua) e meccaniche (plasticità e compattezza) di un terreno, questo grazie al suo elevato contenuto di sostanza organica umificata.

In Tabella 4.1 sono riportate infine le principali funzioni che la sostanza organica esplica nel suolo.

PROPRIETÀ	OSSERVAZIONI	EFFETTI sul SUOLO
Riduzione della densità di suoli minerali	La sostanza organica normalmente ha una bassa densità, perciò l'aggiunta di questi materiali 'diluisce' il suolo minerale.	Una più bassa densità è normalmente associata ad un aumento nella porosità del suolo grazie alle interazioni tra le frazioni organiche e quelle inorganiche.
Chelazione	Forma complessi stabili con Cu^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} e altri cationi polivalenti.	Può migliorare la disponibilità di micronutrienti per le piante.
Solubilità in acqua	Insolubilità della sostanza organica quando è legata con l'argilla. Anche i sali di cationi bivalenti e trivalenti sono insolubili se legati con la sostanza organica. La sostanza organica isolata è parzialmente solubile in acqua.	Un po' di sostanza organica viene persa attraverso la lisciviazione.
Effetto tampone	La sostanza organica mostra un effetto tampone in range di pH leggermente acidi, neutri ed alcalini.	Aiuta a mantenere uniformi le reazioni nel suolo.
Scambio cationico	Le acidità totali di frazioni isolate di sostanza organica si aggirano tra 300 e 1400 cmolc kg ⁻¹ .	Può aumentare la Capacità di Scambio Cationico del suolo. Dal 20% al 70% della CSC di molti suoli è associata alla sostanza organica.
Mineralizzazione	La decomposizione della sostanza organica produce CO_2 , NH_4^- , NO_3^- , PO_3^{4-} e SO_4^{2+} .	Una sorgente di nutrienti per la crescita delle piante.

Tabella 4.1: Funzione della sostanza organica nel suolo

Stabilizzazione dei contaminanti	La stabilizzazione dei materiali organici in sostanze umiche includendo composti organici volatili.	La stabilità può dipendere dalla persistenza dell'humus nel suolo e dal mantenimento o incremento del contenuto di carbonio nel suolo.
Colore	Il tipico colore scuro di molti suoli è spesso determinato dalla presenza di sostanza organica.	Può facilitare il mantenimento del calore in primavera.
Biodiversità del suolo	La frazione organica nel suolo rappresenta una sorgente di cibo per un'ampia gamma di organismi. La diversità dei materiali organici porta alla biodiversità degli organismi presenti nel suolo.	Molte funzioni associate alla sostanza organica sono legate alle attività della flora e della fauna del suolo.
Ritenzione idrica	La sostanza organica può trattenere una quantità d'acqua fino a 20 volte il suo peso.	Aiuta a prevenire fenomeni di essiccazione e di ritiro dei suoli. Può aumentare in modo significativo la capacità dei suoli sabbiosi di trattenere l'umidità.
Combinazione con i minerali delle argille	Consolida le particelle di suolo in unità strutturali chiamate aggregati.	Permette lo scambio gassoso, stabilizza la struttura del suolo e aumenta la sua permeabilità.

Tabella 4.1: seguito

4.1.1.2 Azoto

L'azoto è un elemento indispensabile per tutti gli organismi viventi e nel terreno si trova soprattutto sotto forma organica. Gli apporti naturali di azoto, pur non essendo trascurabili, non sono tuttavia sufficienti ad assicurare il rendimento delle colture agrarie, e se ne rendono quindi necessari apporti, tramite concimi minerali (sostanze in grado di apportare elementi per la fertilità chimica) con un tenore di azoto variabile tra 15-80% o compost proveniente da matrici selezionate in misura minore, in quanto la maggior parte dell'azoto presente negli ammendanti compostati (oltre il 90%) è sotto forma organica, e quindi a lenta cessione. E in effetti anche il D. Lgs. 217/06, che norma la commercializzazione dei fertilizzanti in Italia, non prevede per gli ammendanti compostati un tenore minimo di azoto, diversamente da quanto previsto per i concimi, per i quali è invece definito un titolo minimo per questo nutriente.

4.1.1.3 Fosforo

Il fosforo svolge un ruolo fondamentale nei processi di moltiplicazione cellulare e contribuisce alla formazione dei tessuti vegetali. Anche in questo caso il maggior apporto di fosforo al terreno è dovuto ai concimi minerali, il cui tenore varia tra 16 e 65%.

In generale, il fosforo disponibile per la nutrizione vegetale si trova in soluzione acquosa ed è soggetto a continue trasformazioni, per cui la sua effettiva disponibilità dipende dalle caratteristiche chimico-fisiche del terreno (pH, attività dei microrganismi, sostanza organica), poiché queste ultime condizionano l'evoluzione di tali trasformazioni. Il pH in particolare determina la specie ionica presente: le specie più solubili sono lo ione idrogeno fosfato e lo ione diidrogeno fosfato. La concentrazione del fosforo in soluzione è però modesta (0,1 mg/l) ed è soprattutto difficilmente influenzabile dall'aggiunta di sostanze dall'esterno, poiché la maggior parte del fosforo aggiunto subisce rapide reazioni di insolubilizzazione. Nonostante questo, alcuni compost provenienti da raccolta differenziata possono essere considerati come una buona fonte di fosforo, in quanto da 100 q.li/ha di compost verde il terreno trae 250 kg/ha di fosforo.

4.1.1.4 Potassio

Il potassio è uno dei maggiori costituenti della sostanza secca delle piante ed interviene in numerosi processi fisiologici. Nel terreno si trova in quantità che variano tra 0,2% e 7%, ma la maggior parte di questo è in forma non facilmente disponibile per le piante.

Anche in questo caso l'aggiunta di compost da matrici selezionate può comportare un aumento di tale elemento nel suolo.

4.1.2 Elementi di fertilità fisica

4.1.2.1 Porosità

La caratterizzazione della struttura del terreno può essere eseguita considerando sia la distribuzione della grandezza delle particelle e il loro grado di aggregazione, sia in termini di porosità e di distribuzione della grandezza dei pori. In effetti il secondo approccio è quello che dà maggiori informazioni sul rapporto pianta-terreno, in quanto è proprio la porosità che influenza la maggior parte dei fenomeni di interesse per la produzione agraria, come penetrazione delle radici e trattenimento e movimento dell'acqua. Con l'aggiunta di biomasse di varia natura, compost compreso, si può ottenere un aumento della porosità totale. E in particolare, per quanto riguarda il compost, questo è in grado di incrementare sia il numero dei "transmission pores", ovvero i pori con dimensioni tra i 50-500 μm , nei terreni più pesanti, molto importanti per i bisogni delle piante, ma anche il numero degli "storage pores", di dimensioni tra 0,5-50 μm , nei terreni più leggeri, migliorando così le condizioni strutturali del terreno.

4.1.2.2 Stabilità degli aggregati

Altro parametro di primaria importanza, soprattutto per i suoli agricoli e per quei terreni sottoposti a coltivazioni intensive, è la formazione di aggregati più stabili, con conseguente miglioramento dello stato di aggregazione del terreno. In questo ambito, la capacità del compost di migliorare la stabilità degli aggregati è legata al contenuto di composti organici umificati. In terreni trattati con compost di qualità è possibile anche ridurre fenomeni erosivi. L'effetto di aggregazione diminuisce però con la mineralizzazione della sostanza organica.

4.1.2.3 Proprietà idrauliche

Il movimento e la ritenzione dell'acqua nel terreno sono strettamente legati alla distribuzione dimensionale dei pori, alla loro forma, al loro orientamento e al loro grado di interconnessione. Nei terreni trattati con biomasse la capacità di trattenere l'acqua è maggiore rispetto a quelli non trattati e tale capacità di ritenzione aumenta con l'aumento della sostanza organica aggiunta, sebbene tale incremento dipenda anche dalla tessitura del terreno stesso. Per quanto riguarda la conducibilità idraulica, anche questa aumenta a seguito di trattamenti con biomasse, soprattutto come conseguenza all'aumento della porosità.

Quindi in conclusione, i vantaggi che il compost presenta come additivo nei terreni possono essere così sintetizzati:

- **Azione biologica:** il compost migliora la possibilità di assorbimento dell'azoto da parte delle piante, aumentando il livello di mineralizzazione del terreno; inoltre grazie alle numerose colonie batteriche che contiene, migliora le condizioni di assimilazione da parte delle colture ed accresce la carica biologica dei prodotti;
- **Azione chimica:** il compost contiene, oltre alla sostanza organica, gli elementi nutritivi per le piante come azoto, potassio e fosforo. Esso rappresenta quindi il mezzo per restituire al terreno gli elementi che vengono sottratti dalle coltivazioni; per le sue caratteristiche chimiche (specie il pH) crea e mantiene nel terreno l'ambiente adatto per la decomposizione delle sostanze organiche e poiché tale decomposizione avviene lentamente, il compost può essere considerato come riserva di nutrimento, immessa nel terreno, per far fronte alla necessità delle colture. In questo senso bisogna però sottolineare che il compost non garantisce l'intero fabbisogno degli elementi nutritivi utile al terreno ed è quindi necessario integrarlo con fertilizzanti chimici. Inoltre il compost è in grado di rallentare la migrazione dei contaminanti nel terreno, grazie alla sua azione adsorbente. Come ultimo, c'è da considerare che la sostanza organica apportata da un buon compost diminuisce la

biodisponibilità dei metalli pesanti presenti nei terreni, riducendone il flusso nella catena alimentare, questo grazie al potere tampone e alla conseguente minor variabilità del pH del terreno;

- **Azione fisica:** il compost viene utilizzato per migliorare la permeabilità dei terreni, per evitarne l'erosione e per trattenere l'umidità; inoltre la lenta decomposizione delle sostanze organiche che contiene, insieme all'effetto di isolamento termico, riduce il raffreddamento del terreno. Nei suoli sabbiosi, l'apporto di materiale organico consentirà un aumento della coesione e quindi del potere assorbente, mentre in quelli argillosi si avrà un incremento della permeabilità, migliorando la circolazione dell'aria.

Le caratteristiche agronomiche richieste per l'utilizzo del compost sono riportate in Tabella 4.2.

PARAMETRI	UNITÀ di MISURA	LIMITI di ACCETTABILITÀ
Sostanza Organica	% sostanza secca	> 40
Sostanza Umificata	% sostanza secca	> 20
Rapporto C/N	/	< 30
Azoto Totale	% sostanza secca	> 1
P₂O₅	% sostanza secca	> 0.5
K₂O	% sostanza secca	> 0.4
Granulometria	mm	0.5-25
Umidità	% sostanza secca	< 45

Tabella 4.2: Caratteristiche agronomiche richieste per l'utilizzo del compost

4.2 Parametri di qualità del compost: compatibilità ambientale

4.2.1 I metalli pesanti nel compost

Le principali limitazioni all'impiego del compost in agricoltura derivano dalla presenza di alcuni contaminanti, in particolare i metalli pesanti, che può essere ridotta qualora il compost sia prodotto con frazioni derivanti da raccolta differenziata. In particolare il problema dei metalli pesanti è legato alla loro mobilità nel terreno e quindi al loro possibile trasferimento nella catena alimentare, nonché alla loro persistenza e al loro accumulo.

Per quanto riguarda invece eventuali microinquinanti organici, questi vengono sufficientemente degradati già dal processo stesso di compostaggio, ma anche il suolo è in grado di per sé di eliminare quasi tutti i composti organici nocivi, che si possono ritrovare nel prodotto finale, cosa che invece non avviene per i metalli pesanti.

Per affrontare la problematica dei metalli pesanti nel compost, è necessario innanzitutto determinare l'origine di questi elementi nei rifiuti urbani. Nonostante la notevole variabilità di composizione dei rifiuti, relativamente alle diverse condizioni geografiche e sociali, una distribuzione di massima dei metalli pesanti nei rifiuti può essere quella riportata nella tabella seguente:

METALLI PESANTI	DISTRIBUZIONE nei RIFIUTI
Cadmio	materiali ferrosi > polveri >> cuoio > cartoni > carta
Cromo	cuoio >> materiali ferrosi >> polveri > tessili
Nichel	materiali ferrosi >>> vetri >> polveri > residui ceramiche
Zinco	legno > gomma >> materiali ferrosi >> polveri > tessili

Tabella 4.3: Distribuzione dei metalli pesanti presenti nei diversi tipi di rifiuti

Dalla Tabella 4.3 si evince quindi come i metalli pesanti siano contenuti in tutti i costituenti dei rifiuti urbani e che taluni di questi ne contengano anche quantità rilevanti. Per questo, in un'ottica di compostaggio, solo una corretta raccolta differenziata, soprattutto della frazione organica, può effettivamente ridurre le eventuali contaminazioni di quest'ultima da parte dei metalli pesanti con il conseguente ottenimento di un prodotto finale con buone caratteristiche qualitative. In caso

contrario, un compost di scarsa qualità, con concentrazioni elevate di metalli pesanti, nonché di inerti, vetri, plastiche etc..se somministrato alle colture potrebbe danneggiare la fertilità del suolo o la catena alimentare. È comunque da prevedere, anche nel compost proveniente da matrici selezionate, la presenza di una certa quantità residua di tali elementi. Ed è proprio per regolamentare questo contenuto residuo, che in tutte le nazioni esistono leggi, che stabiliscono valori soglia di concentrazione che non possono essere superati per evitare fenomeni di contaminazione ambientale. Nella tabella seguente si riportano i limiti di accettabilità per il compost ai fini della tutela ambientale.

PARAMETRI	UNITÀ di MISURA	LIMITI di ACCETTABILITÀ
Piombo totale	mg/kg s.s.	< 140
Cadmio totale	mg/kg s.s.	< 1,5
Nichel totale	mg/kg s.s.	< 100
Zinco totale	mg/kg s.s.	< 500
Rame totale	mg/kg s.s.	< 150
Mercurio totale	mg/kg s.s.	< 1,5
Cromo esavalente totale	mg/kg s.s.	< 0,5
Materie plastiche	% s.s.	< 1
Materiali ferrosi	% s.s.	< 0.5
Vetri	% s.s.	< 3

Tabella 4.4: Limiti di accettabilità per il compost ai fini della tutela ambientale

Bisogna inoltre considerare, oltre alla quantità totale di metalli nel compost, anche la specie chimica con cui questi sono presenti. Le principali forme chimiche dei metalli, presenti nel suolo sono:

- ioni semplici o complessi in soluzione nel terreno;
- ioni scambiabili;
- legati alla sostanza organica;
- precipitati con ossidi, carbonati e fosfati;
- ioni nei reticoli cristallini dei minerali primari.

La natura delle specie metalliche può influenzare il comportamento di questi elementi nel terreno, soprattutto immediatamente dopo l'aggiunta di compost.

I principali fattori che influiscono sulla solubilità e la mobilità dei metalli pesanti, e quindi sul loro inserimento nella catena alimentare sono:

- pH;
- capacità di scambio cationico;
- sostanza organica.

pH

Il pH è probabilmente il fattore più importante, poiché l'attività di uno ione metallico in soluzione nel terreno è direttamente collegata a tale parametro. Infatti la maggior parte degli ioni in grado di precipitare i metalli sono acidi deboli, che diventano solubili in seguito a protonazione e spostamento del metallo dalla fase solida. Inoltre anche i siti di adsorbimento specifici dipendono dal pH, nella misura in cui un aumento dell'acidità riduce il numero dei siti disponibili per i metalli pesanti

Capacità di scambio cationico e sostanza organica

La mobilità degli ioni metallici è regolata anche dalla capacità di scambio cationico, la quale rappresenta una misura della carica negativa presente sui costituenti del terreno, ed è quindi anche indicativa della capacità di adsorbire e trattenere, tramite legami elettrostatici, cationi metallici da parte del suolo. Alla capacità di scambio cationico contribuiscono sia la sostanza organica che i minerali argillosi.

Ancora più importante è il ruolo svolto dalla sostanza organica, che interagisce con i metalli formando complessi stabili. La capacità complessante dei composti umici dipende dal contenuto di gruppi funzionali contenenti ossigeno. I complessi che si formano possono essere suddivisi in base alla loro solubilità, la quale ne determina poi la loro mobilità ambientale. In Tabella 4.5 si riporta tale suddivisione

A	Sostanze organiche di elevato peso molecolare, contenenti gruppi aromatici, condensati in polimeri complessi, che hanno elevata affinità per i metalli pesanti e sono per lo più insolubili
B	Sostanze organiche di basso peso molecolare derivanti dal disfacimento di cellule microbiche, di radici, che rappresentano le unità primarie per la formazione di composti umici di maggior peso molecolare e che mostrano in generale notevole solubilità
C	Sostanze organiche solubili, che formano sali insolubili reagendo con i metalli

Tabella 4.5: Complessi tra le sostanza organica e i metalli pesanti

L'impiego di compost, con l'apporto di metalli in diverse forme chimiche e di sostanza organica con diversa struttura molecolare in grado di complessarli e con le eventuali variazioni di pH, può alterare la distribuzione dei metalli pesanti nei diversi complessi e quindi la loro disponibilità per i vegetali. Infatti l'apparato radicale è in grado di interagire sia con ioni liberi, ma anche con i complessi più deboli metalli-sostanza organica.

Per concludere, possiamo dire che, anche a fronte dei dati riscontrabili in letteratura, per quanto riguarda l'impiego del compost in agricoltura, sono sempre le caratteristiche del terreno a determinare la quantità di metalli pesanti che si accumulano, in seguito al trattamento ed in particolare si può definire un **indice di accumulo A**, che è espresso da:

$$A = \frac{M_W - M_P}{M_W}$$

dove M_W rappresenta la quantità totale di metalli pesanti aggiunti (individua quindi la qualità del compost), M_P la quantità asportata ogni anno dalle piante cresciute sul terreno trattato e A la percentuale di metalli che rimane nel terreno, che varia in base al metallo, alle caratteristiche del terreno e alle specie vegetali coltivate. In particolare di seguito si riportano le caratteristiche dei principali metalli, relativamente alla possibilità di accumulo di essi:

- *Cadmio*: può accumularsi nelle piante senza che si manifestino fenomeni di fitotossicità. può essere assorbito sia in forma ionica che scambiabile. Molto pericoloso;
- *Piombo*: sostanzialmente immobile nel terreno, possono verificarsi assorbimenti anomali per concentrazioni nel suolo superiori a 1000 mg/kg;
- *Mercurio*: il contenuto nei fanghi è molto basso; molto ridotto il trasferimento dal suolo ai vegetali;
- *Nichel*: non si verificano fenomeni significativi di bioaccumulo;
- *Zinco e Rame*: non si riscontrano effetti tossici di accumulo;
- *Cromo*: solo raramente i vegetali sono in grado di accumularne quantità rilevanti.

4.3 Stabilità biologica della sostanza organica

Come ultimo elemento, si riporta un concetto di fondamentale importanza per l'impiego del compost in agricoltura, che è la **stabilità biologica** della sostanza organica.

Infatti ai fini dell'impiego in agricoltura, è necessario che il prodotto finale del processo di compostaggio sia sufficientemente maturo e stabilizzato, in caso contrario, una volta somministrato alle colture, potrebbe continuare a consumare ossigeno e interferire sulla respirazione delle radici. La stabilità biologica di un compost è un parametro estremamente importante in quanto, misura diretta dell'efficienza del processo adottato, dell'impatto ambientale del compost in termini di odori, insufficiente igienizzazione, potenzialità di ricolonizzazione da parte dei patogeni, determina inoltre l'idoneità del compost per i differenti utilizzi agronomici ed è rilevante dal punto di vista della conservazione e manipolazione del compost, rappresentando una misura dell'attività biologica del prodotto. In particolare il compost è definito stabile quando i fenomeni degradativi sono nulli o fortemente rallentati.

Per quanto riguarda i metodi di valutazione della stabilità della sostanza organica, questi possono sostanzialmente essere divisi in tre gruppi: **metodi chimici**, **metodi fisici** e **metodi biologici e microbiologici**.

Tra i metodi chimici cui si può fare ricorso ricordiamo:

- *Rapporto C/N*: la sostanza organica stabilizzata presenta un rapporto C/N compreso tra 15 e 20 ed è quindi a questi valori che deve tendere un compost maturo.
- *Azoto minerale*: nel corso del processo di compostaggio si hanno variazioni anche nei rapporti tra le diverse forme dell'azoto; in particolare nelle fasi iniziali si ha un temporaneo aumento dell'azoto ammoniacale, che poi diminuisce a causa delle perdite per volatilizzazione ed ossidazione con successiva formazione di azoto nitrico e nitroso. In un compost maturo, quindi, il contenuto di NH_4 non deve superare lo 0,06% sul secco e quello di NO_3 non deve superare lo 0,04% sul secco;
- *Contenuto in polisaccaridi fermentescibili*: anche il contenuto di polisaccaridi fermentescibili varia durante il processo di compostaggio, infatti la loro concentrazione diminuisce con l'avanzare dei fenomeni degradativi e quindi anche questo parametro può essere assunto come indice indiretto della stabilità biologica;
- *Contenuto in glucidi solubili in acqua*: per valutare la stabilità di una matrice organica si può utilizzare l'indice di biodegradabilità, definita da

$$IB = 3,166 + 0,059 \text{ COT} + 0,832 \text{ ZS} - 0,011 \text{ G}$$

dove per COT si intende il carbonio organico totale, ZS zuccheri solubili in acqua e G giorni di maturazione. In un compost maturo tale indice deve essere inferiore a 2,4;

- *Capacità di scambio cationico*: durante il processo di maturazione della sostanza organica si ha un incremento di questo parametro, ma in generale tale indice assume importanza secondaria in quanto dipende dal tipo di matrice compostata.

Tra i metodi chimici ricordiamo:

- *Cromatografia circolare su carta*: a seconda della colorazione che le sostanze umiche estratte dal compost assumono su di un cromatogramma, è possibile stabilire la maturità della sostanza organica. Tale metodo è comunque di difficile interpretazione;
- *Andamento della temperatura*: la temperatura essendo un indice indiretto dell'attività microbica, può essere utilizzata come una prima parziale indicazione della stabilità della sostanza organica;
- *Odore*: quando la sostanza organica è matura, questa non è più caratterizzata da alcuna emissione maleodorante, mentre acquisisce il tipico odore di terreno di sottobosco, dovuto alla presenza di attinomiceti;

Tra i metodi biologici e microbiologici, si hanno:

- *Test respirometrico*: l'attività respiratoria di un substrato organico è direttamente collegata alla velocità di degradazione, di conseguenza il consumo di O₂ e/o la produzione di CO₂ possono essere utilizzati come indice di stabilità. Tale test misura il consumo orario di ossigeno utilizzato per l'ossidazione biochimica dei composti organici. Il risultato di tale test è l'Indice di Respirazione Dinamico (IRD). Il valore limite dell'indice è stabilito da normative locali in base ai diversi utilizzi del compost, in generale però alla stabilità biologica corrisponde un valore dell'IRD pari a 1000 mg O₂/kg SV h.
- *Saggio di germinazione e saggio di accrescimento*: poiché la stabilità è correlata alla fitotossicità di una matrice organica, è possibile valutarla saggiando su piante la presenza o meno di fitotossicità, attraverso la determinazione dell'indice di germinazione e dell'indice di accrescimento. Il primo viene determinato in seguito alla stima del numero di semi germinati e alla lunghezza delle radici di *Lepidium Sativum* messi a germinare in vitro, a contatto con un estratto acquoso del campione di compost da testare (no citotossicità per IG > 70%). Il secondo saggio consiste nel porre a germinare semi di *Lepidium Sativum* in substrati di torba e sabbia in miscela e non col campione di compost, per poi confrontare le crescite in presenza e non del campione, stabilendo, attraverso determinate formule, il valore dell'accrescimento (anche in questo caso non fitotossicità per valori superiori al 100%).

Esistono poi metodi basati sulla determinazione delle sostanze umiche, tra cui ricordiamo:

- *Tasso e indice di umificazione*: il metodo prevede l'estrazione delle sostanze umiche con un estraente blando (soluzione di pirofosfato di sodio) per non influenzare le caratteristiche chimico-fisiche dell'estratto. Il carbonio umico totale viene poi frazionato in carbonio degli acidi umici (CAU) e carbonio degli acidi fulvici (CAF). Il contenuto in acidi umici e fulvici viene espresso come percentuale del carbonio umico totale o come CAU/CAF. Se questo rapporto risulta essere superiore a 1, allora il compost è maturo. Attraverso il carbonio estratto totale (CET) e il CAU si possono determinare altri due parametri:

$$\text{Tasso di Umificazione} = \frac{CET}{Corg} \cdot 100$$

$$\text{Indice di Umificazione} = \frac{CAU}{Corg} \cdot 100$$

- *Indice di umificazione* espresso attraverso una diversa formulazione, rispetto la precedente, ovvero:

$$HI = \frac{C NU}{C AU + C AF}$$

dove NU rappresenta la frazione non umificata e AU+AF la frazione umificata totale.

L'indice è tanto più basso quanto maggiore è la quantità di sostanze umiche presenti nell'estratto e assume in genere valori inferiori a 0,5 per compost e substrati umificati, mentre superiori a 1 per materiali non umificati;

- *Grado di umificazione (Degree of Humification) e tasso di umificazione (Humification Rate)*: a differenza dei precedenti, questi due indici forniscono indicazioni quantitative circa le sostanze umiche presenti, in particolare si ha:

$$DH\% = \left[\frac{AU + AF}{CET} \right] \cdot 100$$

e cioè il rapporto percentuale fra la quantità di sostanze umiche (AU+AF) e il carbonio totale estratto (CET), tale indice può variare tra 0 e 100, per un compost maturo l'indice assume valori prossimi a 100 e

$$HR\% = \left[\frac{AU + AF}{COT} \right] \cdot 100$$

ovvero il rapporto percentuale fra la quantità di sostanze umiche (AU+AF) e il carbonio totale COT presente nel campione;

- *Indice di stabilità della sostanza organica, IS*: l'indice, che si ottiene attraverso un procedimento di frazionamento ed estrazione della sostanza secca e del carbonio organico totale effettuato sui campioni di compost, per valutare l'andamento delle diverse frazioni ottenute durante le varie fasi del processo di compostaggio, è espresso dalla seguente relazione

$$IS = \frac{(C AU_{tratt})}{C AU_{non\ tratt}}$$

e fa riferimento al carbonio degli acidi umici (C AU), nei campioni di compost trattati con solventi di diverso tipo (per il frazionamento) rispetto agli stessi campioni non trattati.

L'indice può variare da 0 a 1 e tenderà all'estremo superiore con il progredire della maturità. Poiché però, il concetto di stabilità in senso stretto è legato al rallentamento della attività degradativa della sostanza organica, mentre la maggior parte di questi indici misurano più direttamente proprietà affini ma distinte quali la maturità, cioè l'assenza di effetti fitotossici sui vegetali (Saggio di germinazione e saggio di accrescimento) e il grado di evoluzione della frazione umica, cioè la qualità e la complessità delle molecole umiche presenti nel prodotto finale (Indice di umificazione), è stato stabilito, a fronte di numerose indagini, come i metodi respirometrici siano i più idonei alla valutazione della stabilità, questo perché si è individuata una diretta correlazione tra stabilità del compost e velocità di respirazione, essendo la prima un'espressione dell'attività biologica e la seconda una sua diretta misura. I metodi respirometrici sono ormai utilizzati in molti stati Europei ed anche in Italia, divenendo anche metodi ufficiali previsti in alcune normative locali. Si riporta a titolo d'esempio il bollettino ufficiale della regione Emilia Romagna, per l'utilizzo di compost come materiale di copertura di discariche e ripristino ambientale, in cui si evidenzia il valore dell'indice di respirazione dinamico (IRD) per i vari utilizzi.

REGIONE EMILIA ROMAGNA. Bollettino Ufficiale Della Regione Emilia-Romagna n. 78 del 03-05-2000, Parte seconda.

DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE 1 MARZO 2000, n. 647.

Approvazione del contratto di programma per l'utilizzazione del compost

Allegato I

UTILIZZAZIONE DEL COMPOST COME MATERIALE DI COPERTURA GIORNALIERA DEI RIFIUTI IN DISCARICHE CONTROLLATE.

Discariche di I ^a categoria e II ^a categoria (B e C) con riferimento all'autorizzazione all'esercizio da parte della Provincia competente	
Caratteristiche del compost	Materiale grossolano non sottoposto a vagliatura finale e con un IR ≤ 400 mg O ₂ /Kg SV h a 25°C.
Quantità di compost da utilizzare	Ogni singolo strato non dovrà superare lo spessore massimo di 25 cm..
Modalità di utilizzo del compost	Può essere usato tal quale o miscelato con terra e/o inerti.

Ripristino discariche di I ^a categoria e II ^a categoria (B e C) con riferimento al contenuto dell'autorizzazione alla gestione approvato dalla Provincia competente.	
Caratteristiche del compost	Materiale opportunamente vagliato con un IR \leq 300 mg O ₂ /Kg SV h a 25°C.
Quantità di compost da utilizzare	La quantità massima adoperabile sarà determinata in relazione alla concentrazione media dei metalli pesanti nello strato compost-terreno che non potrà superare i limiti fissati dalla colonna A, tabella 1 al D.M. 471/99. In ogni caso la quantità massima applicabile è pari a 300 t/ha di sostanza secca come utilizzo non ripetibile nell'arco di 10 anni.
Modalità di utilizzo del compost	Non può essere usato tal quale ma miscelato con terreno. Lo strato lavorato compost-terreno deve avere uno spessore di almeno 50 cm e deve riguardare esclusivamente lo strato finale di copertura della discarica. Il compost non può essere usato su terreni aventi pH < 6.

Figura 4.1: Estratto del Bollettino Ufficiale della Regione Emilia Romagna

5 Tipologie di compost, ambiti d'impiego e certificazione del Consorzio Italiano Compostatori

5.1 Tipologie di compost e ambiti di impiego

Una prima distinzione tra le diverse **tipologie di compost di qualità**, è sulla base di come si può trovare in commercio, ovvero:

- sfuso;
- confezionato;
- pellettato.

Il compost venduto sfuso o confezionato corrisponde a prodotto vagliato venduto, nel primo caso senza confezionamento, e nel secondo con opportuno imballo che può essere costituito da sacco o big-bag. Il termine vagliato identifica un prodotto che subisce al termine della fase di maturazione un processo di vagliatura, attraverso vagli rotanti o altri sistemi di separazione. Oltre alla possibilità di distinguere diverse frazioni granulometriche e quindi di ridurre le differenti caratteristiche delle particelle costitutive, la vagliatura ha l'indubbio vantaggio di dare luogo a un'ulteriore separazione da inerti non desiderati, aumentando la qualità del prodotto, permettendone una valorizzazione spinta e un apprezzamento commerciale maggiore. Il prodotto pellettato è un prodotto che ha subito un processo industriale di pellettatura, ovvero di estrusione attraverso fori della dimensione massima di 40 mm, più comunemente compresi tra 5 e 20 mm, ottenendo delle strutture cilindriche di lunghezza variabile, che permettono di omogeneizzare il prodotto, di strutturarne in modo da poterlo poi distribuire con comuni attrezzature spandiconcime di larga diffusione nel settore agricolo, costituite da sistemi centrifughi a braccio o a piatto distributore. Per tale tipologia di prodotto il compost deve essere sufficientemente secco e con umidità non superiore al 40%, in quanto in caso contrario il rischio di sfaldamento delle bricchette è rilevante e può comportare un deterioramento tecnologico del pellet con perdita di valore economico a seguito dello sfaldamento nei sacchi. Il prodotto pellettato è certamente il più ambito dal mercato, quello che meglio si presta a una valorizzazione del compost, ma che presenta oneri economici rilevanti che generano minore concorrenzialità rispetto a prodotti alternativi.

In Tabella 5.1 vengono riassunti i pregi e i difetti delle varie tipologie di prodotto presente sul mercato.

TIPOLOGIE	PREGI	DIFETTI
Prodotto sfuso	<ul style="list-style-type: none"> - Ridotta energia utilizzata per le fasi di confezionamento ed addensamento; - Facilità di reperimento sul mercato; - Minori costi; - Minori rotture di carico in fase di logistica 	<ul style="list-style-type: none"> - Minore valore economico alla vendita; - Difficoltà di stoccaggio; - Possibilità di vendita in grandi quantitativi
Prodotto confezionato	<ul style="list-style-type: none"> - Facilità di stoccaggio; - Facilità di distribuzione logistica; - L'etichettatura consente una maggiore identità qualitativa del prodotto 	<ul style="list-style-type: none"> - Maggiori costi per il confezionamento
Pellettato	<ul style="list-style-type: none"> - Packaging più agevole; - Facilità di commercializzazione di partite di piccole dimensioni - Facilità di distribuzione meccanica in campo; - Facilità di stoccaggio 	<ul style="list-style-type: none"> - Maggiori costi; - Necessità di sviluppare una rete di vendita; - Maggiore produzione di rifiuti; - Oneri di smaltimento delle confezioni

Tabella 5.1: Tipologie di compost in commercio, pregi e difetti
(Fonte "COMPOST: Fonte di nuova fertilità")

Altra distinzione che occorre riportare tra le varie tipologie di compost, è quella relativa al periodo di stabilizzazione . In particolare si hanno:

- *Compost fresco*: materiale igienizzato ma ancora in fase di trasformazione biologica.

È caratterizzato da una età fino a 3 mesi, da un elevato rapporto C/N (30-40) e da elevate temperature. Può essere impiegato in florovivaistica nella preparazione di letti caldi; se è impiegato su prati, erbai e pascoli è necessario che la somministrazione cessi almeno due mesi prima del raccolto o del pascolo. La stessa precauzione vale per le colture frutticole, per verdure e ortaggi. E' un prodotto ancora ricco di elementi nutritivi, soprattutto azoto, fondamentali per la fertilità del suolo e per la nutrizione delle piante.

- *Compost pronto o stabilizzato*: compost già igienizzato e stabilizzato in cui l'attività biologica non produce più calore. Ha una età di 4-8 mesi, un rapporto C/N e temperature inferiori a quello fresco. L'umificazione non ha raggiunto livelli elevati e c'è un minor contenuto di azoto a causa della mineralizzazione più prolungata nel tempo. Può essere usato subito prima della semina e del trapianto.
- *Compost maturo o finito*: compost che ha subito una fase di maturazione prolungata generando un buon humus. Ha una età che va dai 12 ai 24 mesi, un rapporto C/N pari a circa 25 e temperatura ambientale. E' il compost che, a causa della mineralizzazione ormai completa, possiede il minore quantitativo di elementi fertilizzanti, ma presenta caratteristiche fisiche e di perfetta stabilizzazione che ne rendono idonea l'applicazione a contatto diretto con le radici anche nei periodi vegetativi. E' anche usato come substrato di coltivazione.
- *Compost speciale*: compost fresco o pronto sottoposto ad ulteriori trattamenti (ad es. essiccamento, igienizzazione a vapore ecc.) usato per impieghi speciali mescolato con sostanze supplementari (quali calcio, argilla, sabbia, farina di sangue ed ossa) al fine di migliorarne la qualità.

Ultima classificazione del compost è quella riportata dalla normativa, in particolare dal D.Lgs. 217/06, che individua tra gli ammendanti i seguenti prodotti:

- ***Ammendante compostato verde*** (ACV): “prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllato di rifiuti organici che possono essere costituiti da scarti della manutenzione del verde ornamentale, residui delle colture, altri rifiuti di origine vegetale con esclusione di alghe e altre piante marine”;
- ***Ammendante compostato misto*** (ACM): “prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllato 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 agro-industriali e da lavorazione del legno e del tessile naturale non trattati, da reflui e fanghi, nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato verde”.

L' ***Ammendante compostato verde*** possiede le seguenti caratteristiche:

- limitata salinità;
- contenuto relativamente basso in elementi nutritivi;
- buone caratteristiche fisiche (densità, porosità, ritenzione idrica);
- buona dotazione in sostanza organica.

Mentre per quanto riguarda l' ***Ammendante compostato misto*** possiede le seguenti caratteristiche:

- buon apporto concimante (buon contenuto di elementi nutritivi, azoto, fosforo e potassio e di microelementi);
- apporto equilibrato tra N, P e K;
- buona dotazione in sostanza organica;
- elevata salinità.

Per quanto riguarda gli **ambiti di impiego** del compost, in funzione di essi vengono richiesti alcuni requisiti di base che sono poi comuni agli ammendanti organici in genere e che anche se già precedentemente citati, vengono ribaditi qui di seguito:

- bassa concentrazione di metalli pesanti, perché potenzialmente tossici per le piante e pericolosi per l'ambiente e per la catena alimentare;
- presenza contenuta di inerti, in particolare vetro e plastica;
- assenza di agenti patogeni e di semi di piante infestanti;
- mancanza di odori sgradevoli;
- contenuto elevato o quanto meno discreto di sostanza organica;
- presenza in quantità apprezzabile di elementi nutritivi (azoto, fosforo, ecc.);
- grado di maturazione commisurato agli impieghi agronomici, ma in ogni caso, si richiede una completa stabilizzazione della frazione organica e quindi assenza di fattori fitotossici.

Le possibilità d'impiego del compost sono numerose, ma la maggiore richiesta è da parte dell'*agricoltura in pieno campo* come ammendante anche se questo tipo di utilizzo è legato ad un bilancio della sostanza organica a carico del terreno interessato; in questo caso, poichè l'ammendante organico viene collocato con interrimento in strati più o meno profondi del terreno, è possibile l'impiego di prodotti di granulometria più grossolana (20-30 mm) e con un contenuto di inerti non rigorosamente basso, purché ben dotati di sostanza organica umificata e di proprietà nutritive. Dal punto di vista agronomico, in relazione alle disposizioni previste dalla normativa vigente, le quantità di compost impiegabili per ettaro e per triennio (300 q) risultano troppo restrittive e risulterebbe più opportuno fissare un limite sulla base della quantità massima di metalli pesanti addizionabili al terreno annualmente o in un altro lasso di tempo ben determinato. È inoltre importante garantire una certa economicità d'intervento circa i costi d'acquisto, di trasporto e di distribuzione del prodotto in modo da incentivare ulteriormente le produzioni di compost, naturalmente di qualità.

L'impiego di questo prodotto (in particolare compost da verde e fanghi) è previsto anche in *buca di piantagione*, applicazione finalizzata a migliorare le condizioni per l'attecchimento e la ripresa delle giovani piantine e in genere effettuata con torba; il compost garantisce le stesse proprietà della torba, rispetto alla quale risulta più attivo nel migliorarne porosità e capacità di ritenzione idrica.

Il compost risulta indicato anche in *pacciamatura*, che consiste nella applicazione localizzata di questo prodotto (lungo filari di vite o di frutteti) volta a migliorare il bilancio idrico del terreno, limitarne i fenomeni erosivi e a controllare erbe infestanti, con conseguente aumento della stabilità dei suoli e riduzione del carico inquinante da diserbanti; per questo utilizzo è sufficiente un prodotto con granulometria grossolana, ma sufficientemente stabilizzato e con presenza minima di elementi indesiderati.

Il compost può essere utilizzato anche nella *preparazione di letti caldi* anche se limitatamente al comparto *vivaistico*, dove è richiesta massa organica in contenuto notevole, scarsamente trasformata e con processi esotermici ancora in corso (compost fresco) e il cui tenore di elementi nutritivi e sostanze indesiderate non sono rigorosi. Questa tecnica sfrutta proprio le proprietà termogene della sostanza organica in decomposizione come fonte di calore per lo sviluppo di colture e si è rivelata economica dal punto di vista energetico ed efficiente culturalmente.

Nel *vivaismo orticolo* e nella *floricoltura*, settori di impiego più delicati, non risulta idoneo l'uso di compost da RSU (più indicato per le concimazioni di fondo), ma particolarmente adatti sono quello verde e fanghi, le cui caratteristiche (salinità in particolare) ne permettono l'uso a diretto contatto con le radici. Notevole richiesta di sostanza organica proviene anche dal *vivaismo forestale*, per il quale risulta particolarmente indicato compost da cortecce e fanghi; è importante ricordare che il settore forestale, a sua volta, rappresenta una fonte di approvvigionamento preziosa per gli scarti verdi, da cui come già detto si ottiene un compost di assoluta qualità.

5.2 Certificazione del CIC

Le quantità e le tipologie di prodotti compostati disponibili in Italia sono in continuo aumento e con loro anche l'interesse verso l'utilizzo di tale tipologia di ammendante. Ciò implica una maggiore attenzione verso gli sviluppi del settore che devono tenere conto della qualità del prodotto e del mercato conseguente. Diversi stati dell'Unione Europea hanno stabilito dei propri standard per i materiali compostati e il Comitato Europeo di Normalizzazione (CEN), sta lavorando per armonizzare gli standard per gli Ammendanti del territorio comunitario. Al fine di assicurare visibilità e migliori condizioni di mercato per i prodotti, il **CIC, Consorzio Italiano Compostatori**, ha promosso l'avvio di un Sistema di Assicurazione della Qualità a similitudine di quanto è già stato fatto da lungo tempo in Europa, per esempio dal "Bundesgütegemeinschaft Kompost", ovvero l'Associazione Federale sulla Qualità del Compost in Germania, o dal VLACO in Belgio, o dal KGVÖ in Austria. Dalla primavera del 2004 anche in Italia esiste un marchio del compost. Il Consorzio Italiano Compostatori dopo un percorso di studio ed approfondimento analitico sui

compost di diverse aziende associate ha messo in atto le procedure per il rilascio e per il mantenimento del **Marchio di Qualità**.



Figura 5.1: Marchio di qualità del CIC

Il Consorzio promuove inoltre programmi di ricerca indirizzati alla sperimentazione di nuove modalità di compostaggio, alla messa a punto di nuove metodologie di laboratorio e alla verifica di nuovi prodotti. Ogni composto, per il quale si richiede il Marchio, viene esaminato considerando la qualità delle frazioni organiche in ingresso, le operazioni meccaniche di trasformazione (vagliatura, miscelazione, macinazione) e le caratteristiche biochimiche e agronomiche dei prodotti ottenuti. I compost di qualità, dichiarati idonei dai laboratori convenzionati o autorizzati dal Consorzio, sono legalmente classificati come ammendanti o fertilizzanti biorganici e pertanto in grado di sostituire torba, letame e concimi. Il CIC inoltre, intende favorire l'incontro tra domanda e offerta, soprattutto diffondendo la conoscenza del prodotto presso i potenziali utilizzatori.

Il Regolamento per la Qualità del CIC, a norma del D.Lgs 217/06, prevede che la certificazione di qualità debba:

- “rispettare i limiti di qualità ambientale previsti dal D.Lgs.217/06, allo scopo di rientrare comunque nel regime di libera commercializzazione, presupposto di fondo del ruolo del consorzio”;
- “verificare il rispetto di ulteriori livelli di sicurezza ambientale mediante l'applicazione di punteggi di merito”;
- “istituire una certificazione di qualità agronomica differenziata per tipologia di prodotti”.

Per quanto riguarda i **limiti di qualità**, questi vengono riportati in **Errore. L'origine riferimento on è stata trovata.** e risultano, come detto, conformi D.Lgs.217/06 (tali valori sono già stati riportati nei paragrafi 4.1.2 e 4.2.1).

PARAMETRO	UNITÀ di MISURA	VALORE LIMITE
Sostanza Organica	% sostanza secca	> 40
Sostanza Umificata	% sostanza secca	> 20
Rapporto C/N	/	< 30
Azoto Totale	% sostanza secca	> 1
P₂O₅	% sostanza secca	> 0.5
K₂O	% sostanza secca	> 0.4
Granulometria	mm	0.5-25
Umidità	% sostanza secca	< 45
Piombo totale	mg/kg s.s.	< 140
Cadmio totale	mg/kg s.s.	< 1,5
Nichel totale	mg/kg s.s.	< 100
Zinco totale	mg/kg s.s.	< 500
Rame totale	mg/kg s.s.	< 150
Mercurio totale	mg/kg s.s.	< 1,5
Cromo esavalente totale	mg/kg s.s.	< 0,5
Materie plastiche Ø < 10 mm	% s.s.	< 0.5
Materie plastiche Ø > 10 mm	% s.s.	assente
Materiali ferrosi	% s.s.	< 0.5
Salmonella	MPN ⁵	Assenti in 25 g.t.q.

Tabella 5.2: Parametri per l'ottenimento del marchio di qualità secondo il CIC

Per la valutazione della *qualità ambientale*, per quanto concerne la presenza di elementi potenzialmente inquinanti, vengono considerati due valori di riferimento: “valore guida” (VG) e “valore massimo” (VM) di contenuto in metalli pesanti nel cui range, col concorso di due valori intermedi V1 e V2, si individua una scala di punteggi di compatibilità ambientale, uno per ogni elemento, la cui somma individua la qualità ambientale del prodotto. In Tabella 5.3 vengono riportati diversi elementi divisi in due classi di pericolosità (classe A per Cadmio, Piombo, Nichel; classe B per Rame e Zinco), soggette a differenti punteggi, maggiori per la classe A, minori per la

⁵ MPN (*Most Probable Number*): numero più probabile di microrganismi presenti in un volume noto del campione in esame. E' una stima che si fa su base probabilistica.

B. Con tale sistema di punteggio il compost certificato ottiene un punteggio di qualità ambientale compreso tra 4 e 10; il marchio di elevata qualità ambientale sarà apposto al materiale rientrante nelle classi di qualità ambientale più restrittive, ovvero con punteggi ambientali più elevati.

ELEMENTI (mm/kg s.s.)	VALORE GUIDA: 2,5 punti per A 1,25 punti per B	V1: 2,0 1,0	V2: 1,5 0,75	VALORE MEDIO: 1,0 0,5
Elementi di Classe "A"	Concentrazioni nel compost (mg/kg SS)			
Cd	1	1.5	2.2	3
Ni	35	50	75	100
Pb	70	100	135	170
Elementi di Classe "B"	Concentrazioni nel compost (mg/kg SS)			
Zn	300	400	700	1000
Cu	70	100	200	300

Tabella 5.3: Sistema di punteggio di qualità ambientale proposto dal CIC. A punteggi ambientali elevati (fino a 10) corrispondono compost con minor contenuto di metalli pesanti (Fonte Canziani, Sperandio, "Ingegneria della trasformazione in compost")

Per la *qualità agronomica*, il CIC propone marchi diversi, a seconda dell'utilizzo dei materiali: se da usare nella vivaistica come substrati per le coltivazioni in contenitore, come ammendante in pieno campo, nella costruzione del verde pubblico, in orticole ed in serra.

In Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. sono riportati i parametri agronomici da dichiarare e soggetti ad un controllo analitico.

PARAMETRI	UNITÀ di MISURA	SUBSTRATO	AMMENDANTE
MATERIE PRIME	-	dichiarazione	-
UMIDITÀ	% s.t.	< 45	< 45
C/N	-	< 30 (< 25 per ACM)	< 25
PARAMETRI IDROLOGICI:			
Grado di restringimento	% volume	20	-
Porosità totale	% volume	85	-
Porosità libera	% volume	20	-
Cap. di ritenzione idrica	% volume	55	-
SALINITÀ	mS/cm	< 1,5	-

Tabella 5.4: Parametri per l'ottenimento del marchio di qualità agronomica secondo il CIC (Fonte Canziani, Sperandio, "Ingegneria della trasformazione in compost")

SAGGI BIOLOGICI:			
Indice di germinazione (IG)	%	> 70	> 40
Indice di accrescimento (GM)	%		> 100
MACROELEMENTI (N,P,K)	% s.s.	dichiarazione	dichiarazione
SOSTANZA ORGANICA	% s.s.	> 40	> 40
pH	-		-

Tabella 5.4: seguito

Altro elemento importante è rappresentato dal requisito di rintracciabilità, il quale si aggiunge ai requisiti di qualità che un prodotto come l'ammendante compostato può raggiungere. In Italia, la Norma UNI 109393 del 2001 definisce la Rintracciabilità come la capacità di ricostruire la storia di un prodotto (e le sue trasformazioni) con informazioni documentale. Le imprese scelgono la rintracciabilità soprattutto come strategia di sviluppo con l'intento di raggiungere vari obiettivi quali:

- una risposta alle preoccupazioni del mercato e dei consumatori;
- uno strumento di gestione interna del rischio;
- il coordinamento di filiera (rapporto clienti/fornitori);
- per il potenziale vantaggio competitivo.

La ricostruzione del percorso delle matrici organiche (classificazione, provenienza, introduzione nella miscela, trattamento e tipo di prodotto finale) oltre che avvalorare il concetto di garanzia, crea valore aggiunto all'ammendante compostato e trasparenza nei confronti dell'utilizzatore.

Un ulteriore obiettivo da raggiungere è rappresentato dalla realizzazione di un servizio di promozione del compost per mezzo di una specialistica informazione, che stimoli i protagonisti di questo mercato a potenziare le relazioni commerciali. Per questo è opportuno curare l'immagine del compost presso le utenze specializzate (agricoltura biologica, florovivaistica, ecc.) attraverso veicoli di informazione (Sportelli Informativi Regionali, Scuole agrarie, informatori agrari) o anche per mezzo di dimostrazioni pubbliche presso le aziende agricole, tramite fiere e convegni, dove dare tutte le direttive per un migliore utilizzo del compost (modalità, dosi). È inoltre importante costituire un'unica banca dati sulla produzione di rifiuti compostabili, sulle esperienze di promozione in atto, sulla domanda e offerta di prodotti compostati, sugli impianti funzionanti e sulle sperimentazioni in atto. Questi sono i presupposti fondamentali dell'attività di promozione svolta dal CIC.

6 Caso pratico: Impianto di compostaggio Nuova Geovis, Sant'Agata Bolognese

In questo capitolo della trattazione, si propone la descrizione e l'analisi di un impianto presente ed operante nel territorio emiliano, situato a Sant'Agata Bolognese, di proprietà di Nuova Geovis S.p.A., società per il 51% di Herambiente S.r.l. e per il 49% di Unieco S.c.a.r.l. di Reggio Emilia. La società è dotata di due moderni impianti produttivi, uno sito in *Sant'Agata Bolognese* e l'altro nel Comune di *Ozzano nell'Emilia*, entrambi in provincia di Bologna.

Gli impianti di Nuova Geovis S.p.A. (Figura 6.1Figura 6.2) sono inseriti nel Piano Infraregionale di Smaltimento dei Rifiuti Solidi Urbani e Speciali della Provincia di Bologna, come poli di trattamento di rifiuti indifferenziati e di frazioni organiche separate alla fonte, del bacino nord-occidentale. Questi impianti sono d'importanza strategica nel contesto pianificatorio provinciale, poiché rispondono alle esigenze di recupero trattamento e smaltimento di oltre 30 Comuni, oltre a recuperare e trattare rifiuti organici provenienti da attività agroindustriali.



Figura 6.1: Veduta aerea dell'impianto di Sant'Agata Bolognese



Figura 6.2: Veduta aerea dell'impianto di Ozzano nell'Emilia

6.1 Overview dell'impianto

L'impianto polifunzionale di trattamento, recupero e smaltimento di rifiuti solidi urbani di Sant'Agata Bolognese è finalizzato alla stabilizzazione biologica di scarti o frazioni organiche, sia derivate dai rifiuti solidi urbani tal quali, che raccolti in modo separato.

Questo impianto può produrre anche C.D.R (combustibile derivato dai rifiuti) a norma del decreto del 5 febbraio 98, utilizzando le frazioni a più alto valore energetico. L'impianto dispone inoltre di una discarica, esclusivamente al servizio dell'impianto di trattamento, finalizzata unicamente allo smaltimento di rifiuti, che residuano dalle operazioni di trattamento e recupero, la quale è dotata inoltre di un sistema di aspirazione, per la captazione del biogas e di un sistema di raccolta del percolato prodotto, il quale viene poi convogliato in apposite vasche, periodicamente svuotate.

Attualmente l'impianto comprende quattro linee di trattamento:

- Linea di trattamento della frazione organica dei rifiuti urbani da raccolta differenziata, finalizzata alla produzione di un ammendane di qualità (*Ammendante Compostato Misto, ACM*);
- Linea di trattamento dei rifiuti urbani indifferenziati, finalizzata alla produzione di FOS (*Frazione Organica Stabilizzata*);
- Linea di trattamento del sopravaglio (frazione prevalentemente secca) derivante dalla sezione di preselezione dei rifiuti solidi urbani indifferenziati, finalizzata alla produzione di C.D.R. (*Combustibile Da Rifiuti*);
- Moderno impianto di recupero energetico del biogas prodotto dalla discarica di 950 KW di potenza, con *produzione di energia elettrica* e cessione di questa all'ENEL, per un totale di 6 milioni di Kwh/anno.

Le potenzialità di trattamento delle linee dell'impianto di S' Agata Bolognese sono le seguenti:

- rifiuti organici differenziati 60000 ton/anno comprensiva di rifiuti urbani raccolti in modo differenziato e di rifiuti speciali non pericolosi a base organica, tra cui anche materiali lignocellulosici (3000 ton/anno);
- rifiuti urbani indifferenziati e fanghi 94500 ton/anno, di cui 90000 ton/anno di rifiuti urbani indifferenziati e 4500 ton/anno di fanghi da impianti di depurazione civile;
- trattamento per C.D.R. 50000 ton/anno di sovrallo da preselezione.

L'impianto è organizzato come mostrato in Figura 6.3 e si individuano quindi:

- un'area di ricezione, stoccaggio e trattamento dei rifiuti provenienti da raccolta differenziata;
- un'area di ricezione, stoccaggio e trattamento dei rifiuti indifferenziati;

- una discarica, a cui viene avviata la frazione organica stabilizzata.

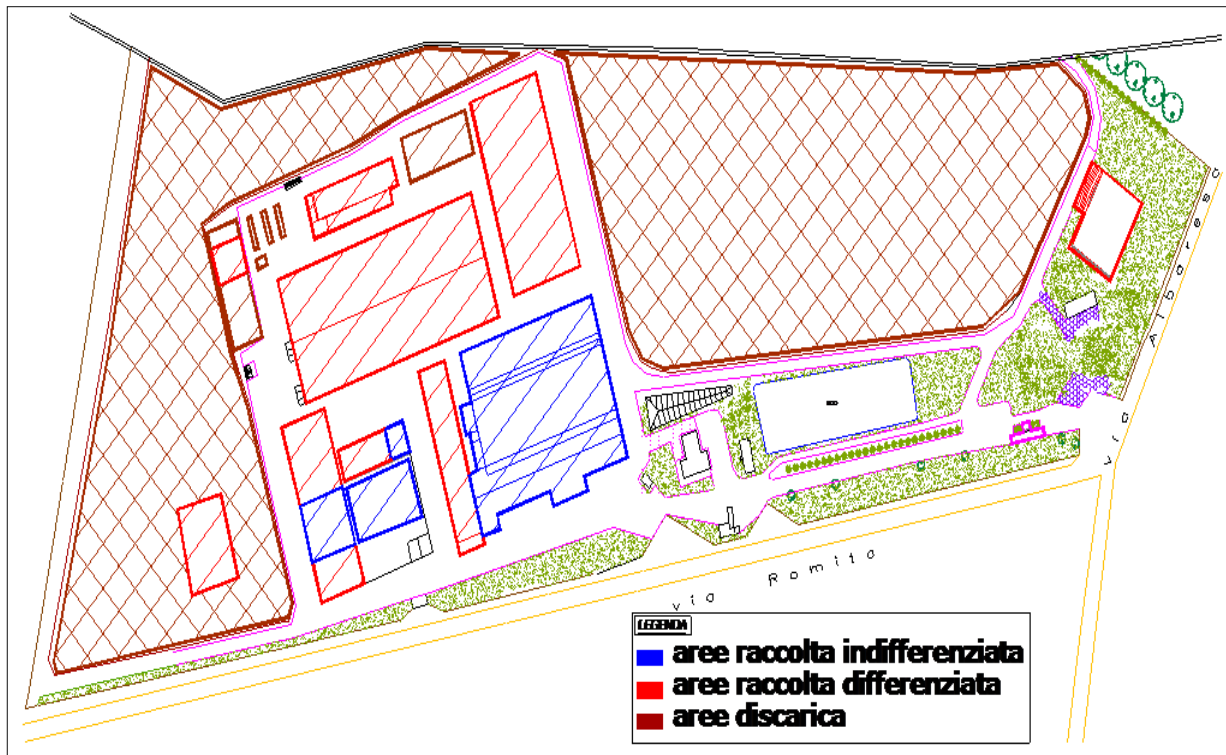


Figura 6.3: Layout dell'impianto di Sant'Agata Bolognese

6.2 Linee di Lavorazione

Come precedentemente riportato, per quanto riguarda i trattamenti di biostabilizzazione, nell'impianto vengono gestite due linee di lavorazione parallele.

La prima linea tratta esclusivamente rifiuti indifferenziati e fanghi provenienti da impianti di depurazione e dà origine a un prodotto definito FOS, ovvero Frazione Organica Stabilizzata, materiale conforme alla Delibera della Giunta Regione Emilia Romagna, n.1996/2006 (vedi cap. 2.3) mentre la seconda, dedicata alla lavorazione dei rifiuti selezionati alla fonte, è finalizzata alla produzione di compost di qualità, cioè un ammendante compostato misto, a norma della legge 217/2006 sui fertilizzanti (vedi cap.2.2).

6.2.1 Linea di Produzione della FOS

Per quanto riguarda questa linea, il processo di compostaggio rappresenta solamente un metodo di smaltimento dei rifiuti, riducendosi quindi ad un semplice trattamento (biostabilizzazione), preventivo per la collocazione in discarica dei residui organici che, essendo ormai stabilizzati, riducono problemi di ordine ambientale e gestionale. Il materiale che si ottiene è la FOS, la quale

può essere utilizzata come materiale tecnico nel rispetto delle prescrizioni analitiche e di processo di cui alla *Delibera della Giunta Regione Emilia Romagna, n.1996/2006*.

I requisiti minimi per la produzione di biostabilizzato a norma di legge sono:

- il mantenimento della *temperatura oltre i 55°C per almeno tre giorni consecutivi*, al fine di garantire una corretta igienizzazione del materiale di partenza, e quindi l'inattivazione di semi di piante infestanti e organismi patogeni, che oltre dalle alte temperature vengono efficacemente disattivati anche dai fenomeni di competizione fra specie microbiche;
- la *durata del periodo di stabilizzazione pari ad almeno 21 giorni*;
- la *pezzatura massima, in uscita, che deve essere inferiore a 50 mm*.

Le caratteristiche che la FOS deve rispettare per l'utilizzo come materiale di ripristino, per copertura giornaliera e finale, sono riportate al capitolo 2.3, Normativa Regionale.

6.2.1.1 Il processo di Biostabilizzazione

I R.S.U. provenienti dalla raccolta indifferenziata, effettuata in vari comuni della provincia di Bologna, una volta trasportati presso l'impianto attraverso camion, i quali vengono pesati all'ingresso, vengono stoccati nelle aree adibite al materiale indifferenziato.

A questo punto le prime lavorazioni che subiscono sono la *vagliatura* e la *raffinazione*, tramite le quali viene separata la frazione più grossolana dal materiale con pezzatura più fine e vengono recuperati i materiali ferrosi, attraverso l'impiego di opportuni campi magnetici.

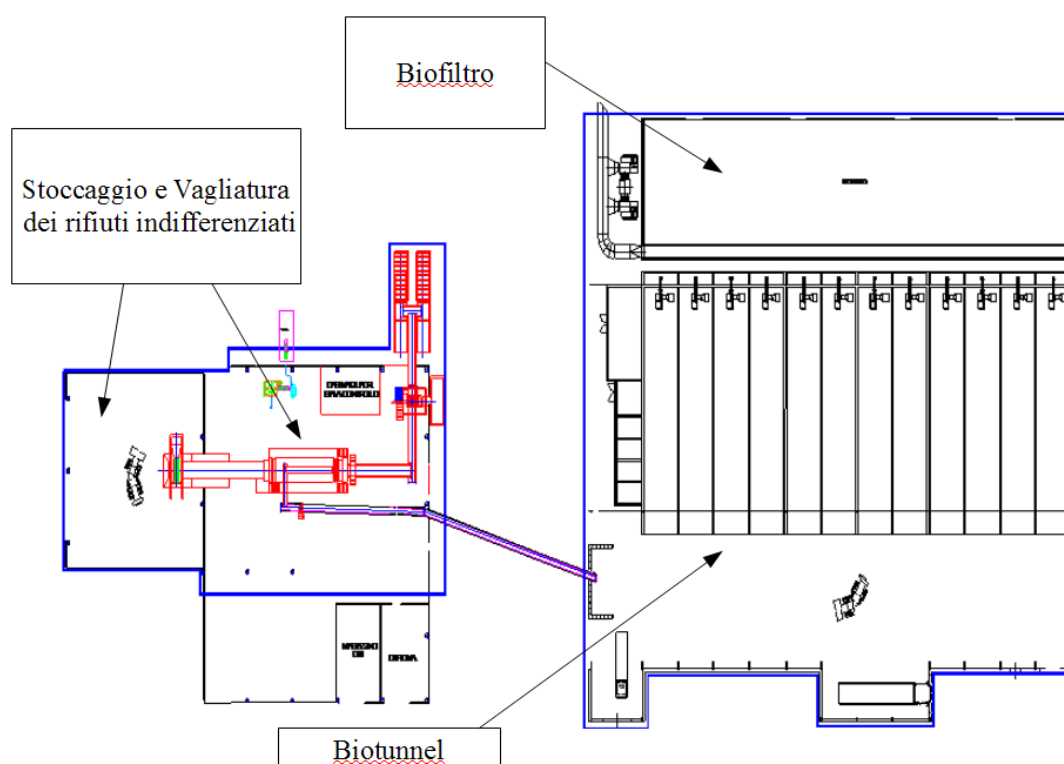


Figura 6.4: Area di trattamento rifiuti indifferenziati

Successivamente il materiale sopravvaglio viene scaricato in discarica e compattato tramite appositi mezzi, mentre il sottovaglio viene immesso nei biotunnels, per la biostabilizzazione.

Il processo per la produzione della FOS avviene in 12 *biotunnels*, ovvero strutture compatte, chiuse, impermeabili e completamente isolate dall'ambiente che le contiene, poste in batteria. Le dimensioni dei biotunnels sono 30x6x6 metri.

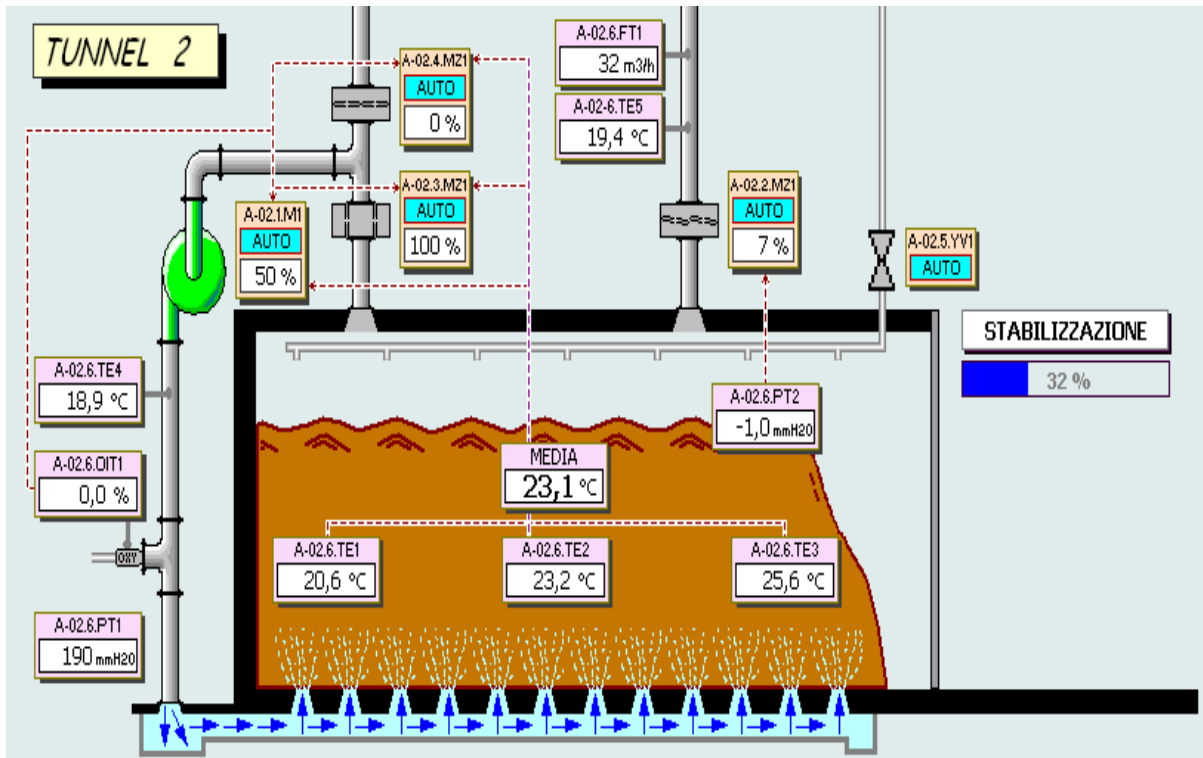
L'utilizzo di tale strutture permette quindi di accelerare e ottimizzare il processo, permettendo un maggior controllo dei parametri che lo influenzano e delle emissioni maleodoranti.



Figura 6.5: Biotunnel presenti nell'impianto di Sant'Agata Bolognese

Il processo viene gestito in automatico mediante un software e un'interfaccia grafica permette all'operatore di controllare e gestire l'impianto e le fasi del processo, per cui risulta possibile:

- verificare lo stato delle varie componenti dell'impianto;
- attivare singoli comandi o sequenze operative;
- cambiare le impostazioni di processo;
- visualizzare e identificare gli allarmi;
- visualizzare e stampare i rapporti dei processi conclusi.



GESTIONE FASI TUNNEL 2

	CARICO	LIVELLAMENTO	RISCALDAMENTO	IGIENIZZAZIONE	STABILIZZAZ.	ESSICCAZIONE	RAFFREDDAMEN.	SCARICO
DEPRESSIONE TUNNEL		0,0 mmH2O	0,0 mmH2O	0,0 mmH2O	0,0 mmH2O	-1,0 mmH2O	0,0 mmH2O	
VELOCITA' VENTILATORE	0,0 %	70,0 %	50,0 %	50,0 %	50,0 %	0,0 %	85,0 %	0,0 %
CICLO DRENAGGIO:	Periodo	95 min.	95 min.	95 min.	95 min.	0 min.	0 min.	
	Durata	90 min.	85 min.	90 min.	90 min.	0 min.	0 min.	
DURATA FASE:	Giorni	0 gg.	4 gg.	3 gg.	minimo massimo 9 14 gg.	0 gg.	0 gg.	
	Ore		0 hh.	6 hh.	0 0 hh.	0 hh.	12 hh.	
BAGNATURA:	Quantità	0,000 m3	0,000 m3	0,000 m3	0,600 m3	0,000 m3	0,000 m3	
	N° Cicli	0 N°	0 N°	0 N°	5 N°	0 N°	0 N°	
TEMPERATURA:	Lim. max			60,0 °C	50,0 °C		35,0 °C	
	Lim. min		60,0 °C	55,0 °C	40,0 °C			
TENORE OSSIGENO:			12,0 %	12,0 %	12,0 %			
SERRANDE:	Aspirazione	100,0 %	5,0 %	5,0 %	5,0 %	0,0 %	5,0 %	15,0 %
	Ricircolo	0,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %
AVANZATE	START	100 %	97 %	70 %	34 %	0 %	0 %	STOP

RICETTE
 CARICA SALVA
 VISUALIZZA

Data di inizio trattamento: Giorno: 12/12 Ora: 13:36
 Termina Fase
 Data prevista di fine trattamento: Giorno: 21/12 Ora: 23:56

TUNNEL 1 | TUNNEL 2 | TUNNEL 3 | TUNNEL 4 | TUNNEL 5 | TUNNEL 6 | TUNNEL 7 | TUNNEL 8 | TUNNEL 9 | TUNNEL 10 | TUNNEL 11 | TUNNEL 12

ALLARMI
 AVVISI: 14.40.44 MISURE TUNNEL 4 : eccessiva depressione tunnel

PRINCIPALE | SINOTTICO | TUNNELS | FASI | GRAFICI | RAPPORTI | ALLARMI | ESCI

14.42.03 15/12/2004

Figura 6.6: Interfaccia grafica del biotunnel numero 2

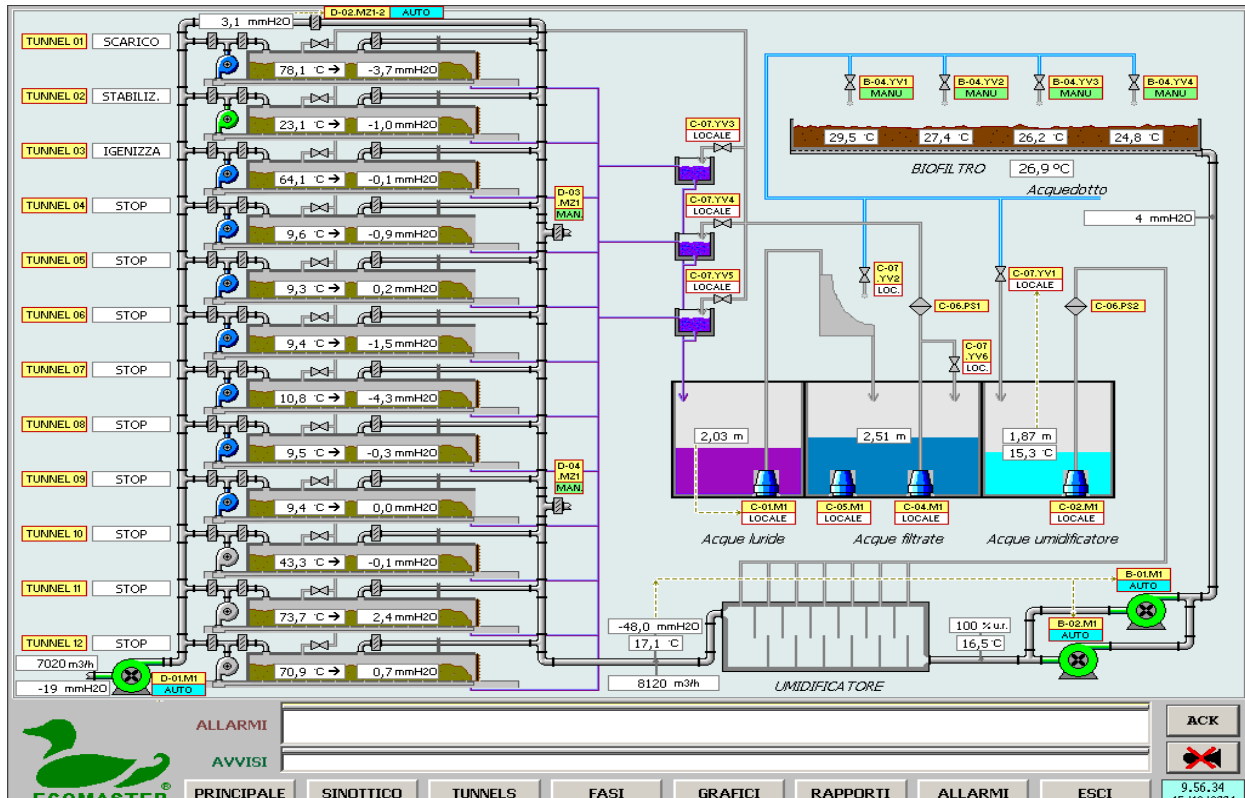


Figura 6.7: Interfaccia grafica dei 12 biotunnel

Lo schema di funzionamento di un biotunnel è caratterizzato da un ventilatore a portata variabile (a mezzo inverter) e tre serrande motorizzate per la regolazione della portata dell'aria fresca e dell'aria esausta. La temperatura all'interno del cumulo viene controllata tramite tre sonde, che la rilevano in tre punti distinti. Sono presenti poi due rilevatori di pressione differenziale, uno per rilevare la pressione interna al tunnel rispetto alla pressione esterna, l'altro per rilevare la pressione di mandata del ventilatore e una valvola per l'irrorazione del cumulo, che avviene tramite ricircolo del percolato, prodotto dalla decomposizione della matrice, questo per aumentarne l'umidità del cumulo e raffreddarlo. Il processo si compone delle seguenti fasi:

- *carico*: la matrice di partenza viene caricata all'interno dei biotunnel tramite una pala gommata;
- *livellamento*: la matrice viene livellata e ciò consente un'omogeneizzazione della biomassa, in modo da ridurre la durata del ciclo ed uniformare la qualità del prodotto, che verrà estratto al termine;
- *riscaldamento*: è finalizzato all'innalzamento della temperatura del materiale oltre il valore di 55°C, in modo da garantire nel successivo stadio di igienizzazione il rispetto delle prescrizioni di legge. L'aria introdotta, attraverso fori sul fondo della biocella estrae calore dalla massa, l'aria interna, invece, ha una temperatura prossima a quella del materiale,

perciò in presenza di ricircolo pressoché completo la massa si riscalda grazie alle reazioni esotermiche di biodegradazione;

- *igienizzazione*: di norma il materiale è considerato igienizzato dopo un minimo di 3 giorni di permanenza ad una temperatura di almeno 55 °C. Se questa dovesse scendere al di sotto di tale valore si genera un allarme nel sistema di controllo del processo, ed è quindi possibile aumentare la durata della fase;
- *stabilizzazione*: è la fase più lunga del ciclo, la temperatura viene mantenuta tra i 50°C ed i 60°C, tramite l'utilizzo delle serrande motorizzate e del ventilatore, che consentono la regolazione della portata dell'aria fresca e dell'aria esausta;
- *raffreddamento*: in questa fase la temperatura viene riportata a valori più prossimi a quelli ambiente, facendo attraversare il materiale esclusivamente dall'aria fresca. In questo modo viene anche asportata l'umidità. Infatti la sottrazione di calore è dovuta anche all'evaporazione dell'umidità del materiale;
- *scarico*: terminata la bioossidazione il materiale viene estratto con le stesse modalità con cui era stato caricato.

I biotunnel sono progettati considerando che l'intero ciclo di lavorazione avvenga in depressione per contenere la propagazione di odori. È inoltre previsto un sistema di captazione dell'aria esausta, la quale l'aria aspirata dai fabbricati viene avviata ad un biofiltro per la deodorizzazione prima del rilascio in atmosfera. I reflui liquidi prodotti dal trattamento vengono raccolti in una rete di canalizzazioni, e riutilizzati ai fini del processo o avviati allo smaltimento in impianti esterni debitamente autorizzati.

6.2.2 Linea di Produzione del Compost di Qualità

La linea di produzione del Compost di qualità è stata attivata nel 1990 ed è andata assumendo sempre maggiore importanza, in quanto solamente da matrici organiche selezionate alla fonte è possibile ottenere un compost di purezza tale da essere pienamente compatibile con un utilizzo in agricoltura.

Le principali frazioni trattate dall'impianto provengono:

- scarti vegetali dalle operazioni di manutenzione del verde ornamentale (potature, frasche, foglie, sfalci dei tappeti erbosi);
- scarti alimentari vegetali e animali raccolti in modo differenziato rispetto al resto dei rifiuti urbani;
- scarti vegetali derivati dalle attività di trasformazione dei prodotti ortofrutticoli;

- residui delle colture agricole erbacee (paglia, stocchi di mais) ed arboree (potature di vigneti e frutteti);

Tutto il materiale conferito viene pesato e stoccato nelle aree idonee. Il processo produttivo si svolge secondo le seguenti fasi:

- *triturazione del materiale lignocellulosico*, per garantirne la sfibratura e la riduzione del volume e della pezzatura dei rifiuti fino a 2 - 4 cm; così facendo si aumenta la superficie di contatto del materiale con la restante frazione organica e si garantisce una buona struttura alla massa lavorata, che deve essere compatta, ma non asfittica;
- *vagliatura*, consente di uniformare la pezzatura dei materiali, separando dal flusso di trattamento i sovvalli, costituiti essenzialmente da materiali di scarto o sovrabbondanti. Gli scarti di vagliatura possono essere riciccolati a monte della triturazione; in ogni caso il materiale definitivamente scartato in vagliatura può essere smaltito, eventualmente previa deferrizzazione, o riutilizzato come fonte di altro materiale di recupero;
- *miscelazione* accurata delle varie frazioni organiche, in proporzioni bilanciate, in funzione del tenore di umidità, del contenuto di azoto e fosforo, e della struttura fisica delle varie componenti. Questa fase viene attuata con un miscelatore particolarmente efficace nell'amalgama delle varie frazioni e nella frantumazione dei tessuti freschi, previa pesatura delle varie matrici in fase di carico. In particolare la miscelazione di residui verdi e lignocellulosici, ricchi di carbonio, con rifiuti organici provenienti dalla raccolta urbana differenziata, a elevato contenuto di azoto, garantisce un buon equilibrio tra elementi e le condizioni per una corretta gestione del processo biologico;
- *biossidazione* accelerata della miscela ottenuta e depositata in cumuli in idoneo capannone chiuso ed aerati per un periodo di 35-45 giorni. Sono previsti rivoltamenti del cumulo tramite macchina semovente;
- *maturazione* della massa fermentata, sempre all'interno di un capannone in depressione, fino all'ottenimento del prodotto finale;
- *raffinazione finale* del materiale stabilizzato, la quale garantisce la preparazione per le successive operazioni di confezionamento. Questa comprende rotovagliatura, deferrizzazione e laminazione e viene effettuata in due fasi; la prima prevede la selezione dimensionale con un vaglio da 12 mm e la seconda, definitiva, con un vaglio da 6 mm. Quest'ultima consente di eliminare tutti i corpi estranei e di ottenere un prodotto di qualità molto elevata.

Le caratteristiche del vaglio sono diametro del tamburo 1500 mm, lunghezza della parte vagliante 4000 mm, luce di passaggio 6-12 mm, velocità di rotazione 15-20 giri/min, potenza installata 7.5 kW;

- *pellettizzazione* dei prodotti raffinati, linea complementare alla linea di confezionamento dell'ammendante in polvere e consente la commercializzazione del prodotto ridotto a piccoli cilindretti, mantenendo inalterata la qualità, ma ampliando le possibilità di spandimento agronomico.

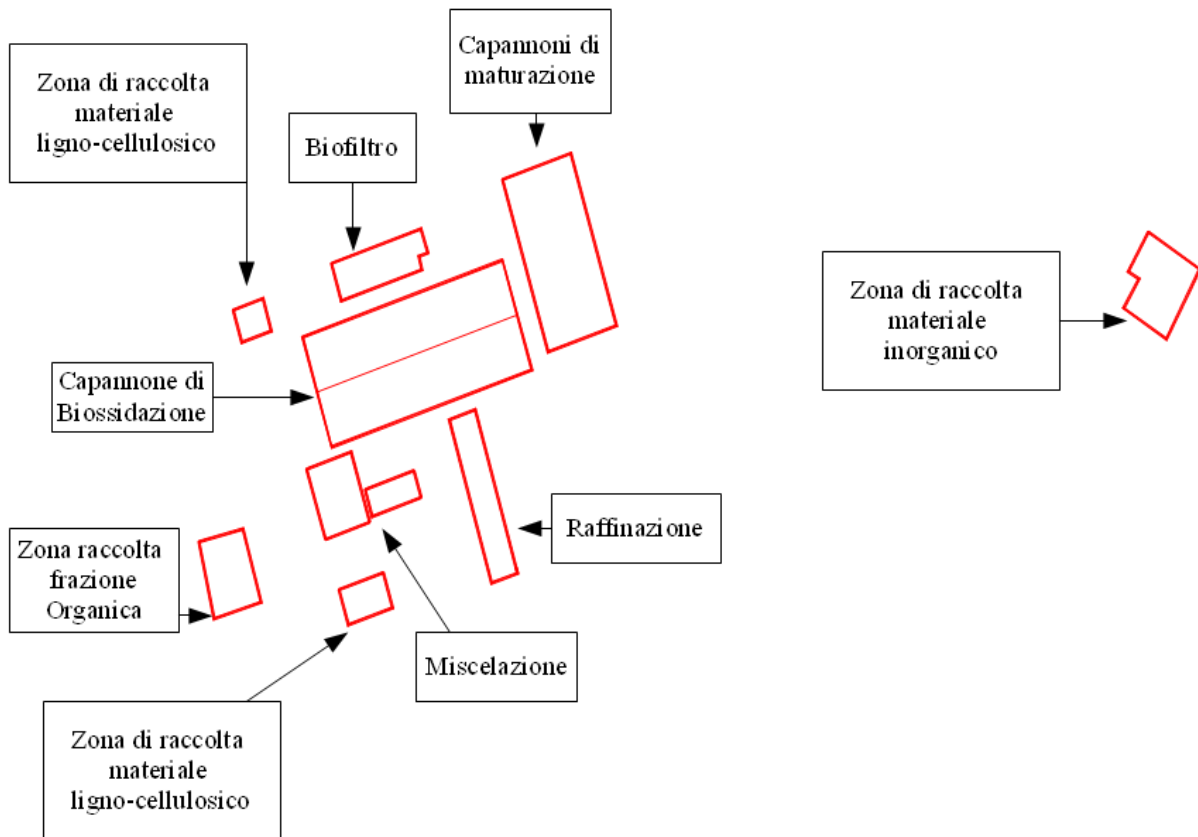


Figura 6.8: Area di trattamento rifiuti da raccolta differenziata

Relativamente alla produzione dell'ammendante compostato misto l'impianto di Sant'Agata ha ottenuto il marchio di qualità del CIC.

6.3 Fase applicativa

Il processo che più risulta interessante, dal punto di vista tecnologico e analitico è quello di produzione della FOS, poiché questo realizzandosi all'interno di biotunnel è anche quello, come prima accennato, che è possibile gestire e controllare, grazie al monitoraggio in continuo dei parametri di processo. Quello che ci si propone di fare è la creazione di un modello, che legghi l'andamento di temperatura, che viene registrata in continuo dalle sonde presenti nel cumulo, con i valori dell'IRD, forniti da prove di laboratorio su campioni di FOS, in corso di trattamento, prelevati in diverse fasi del processo.

Alla base del modello vi è la cinetica di crescita della biomassa attiva in funzione del substrato, di Michaelis-Menten, in forma semplificata.

Quello che è stato fatto è :

- rilevazione di temperatura per un biotunnel, a due carichi successivi (dati forniti dall'impianto grazie alla registrazione in continuo);
- ricostruzione dell'andamento di temperatura;
- misure dell'IRD su 4 campioni di FOS dello stesso biotunnel, di cui si è registrata la temperatura, per entrambi i carichi

A titolo d'esempio si riporta un andamento di temperatura fornito dall'impianto, per la fase di igienizzazione e stabilizzazione .

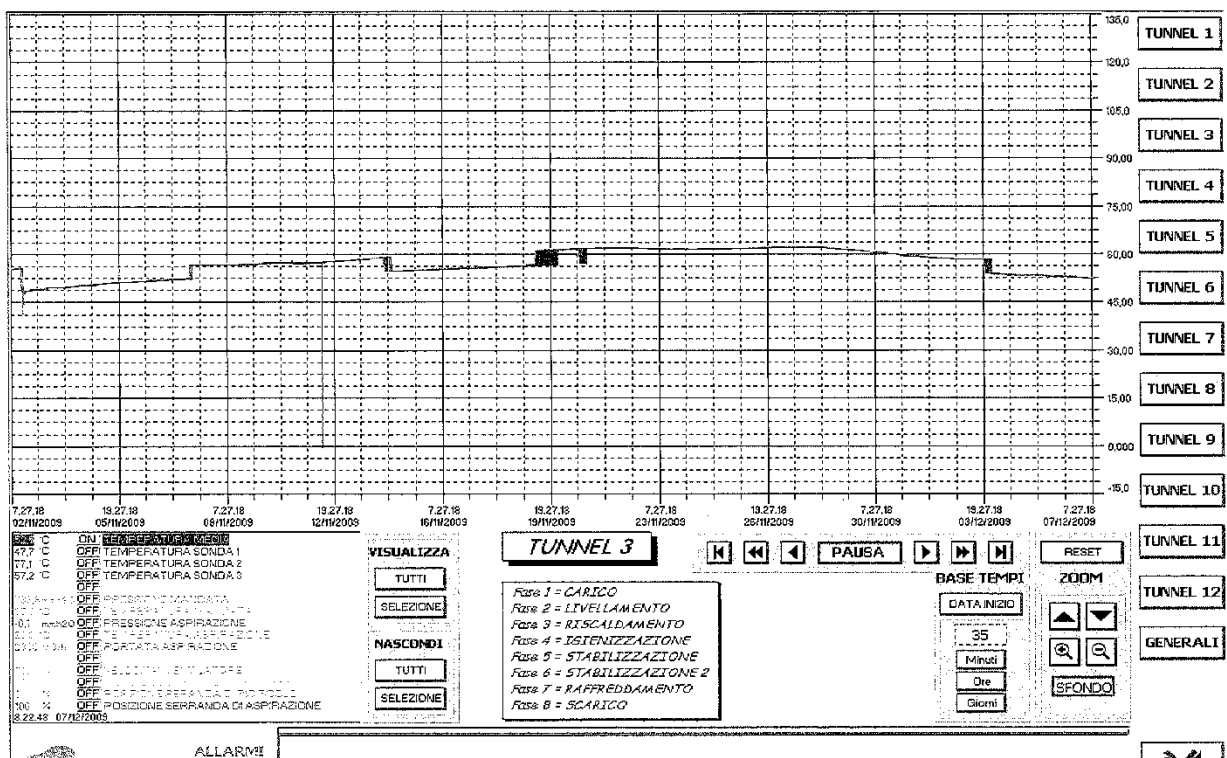


Figura 6.9: Grafico dell'andamento di temperatura fornito da Nuova Geovis

Come si può notare la temperatura rimane tra 50-60 °C per entrambe le fasi (reazioni esotermiche), questo ovviamente sia per rispettare le prescrizioni di legge, che per accelerare il processo.

Il limite massimo di temperatura non viene superato grazie alla ventilazione forzata, altrimenti potrebbe raggiungere valori fino 70°C.

L'andamento di temperatura che è stato ricostruito è mostrato Grafico 6.1.. Come si può notare dal grafico esistono leggere fluttuazioni dell'andamento di temperatura relativo al primo carico rispetto

al secondo, questo può essere dovuto alle diverse composizioni della matrice iniziale, diverse di condizioni di umidità ecc.

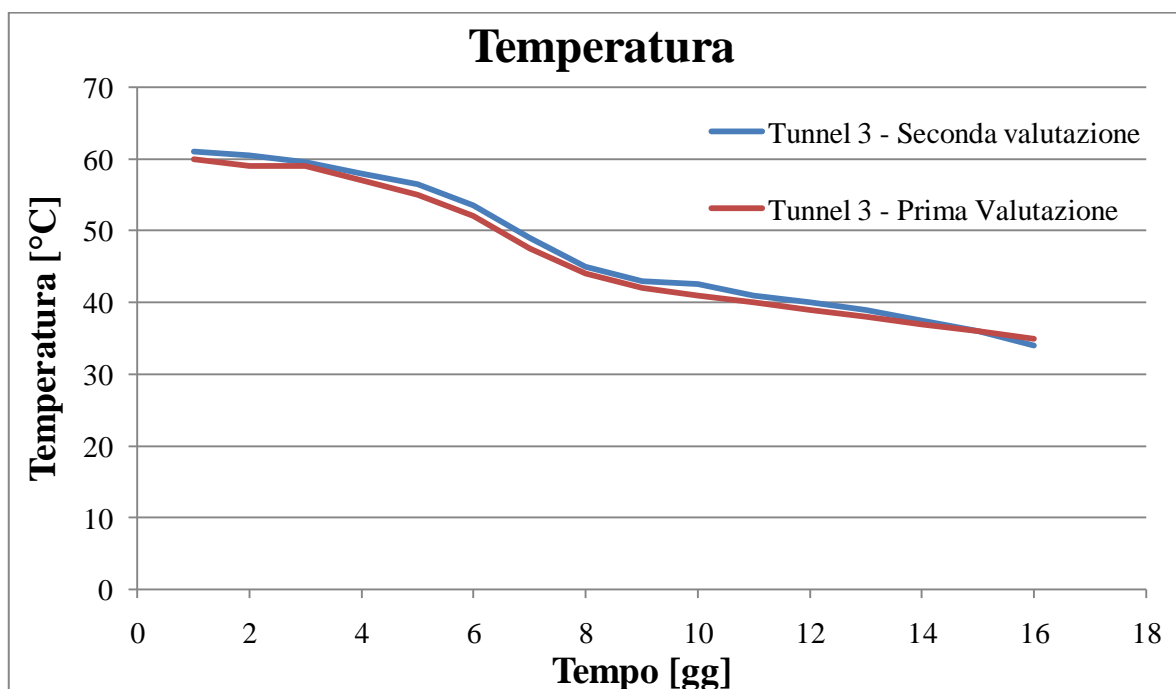


Grafico 6.1: Andamenti di temperatura ricostruito

I valori dell'IRD vengono forniti tramite prove di laboratorio su campioni prelevati a inizio, durante e fine processo. Il metodo di laboratorio utilizzato è il DI.PRO.VE (Dipartimento di Produzione Vegetale, università di Milano), tramite il quale i campioni prelevati, vengono chiusi in reattori ermetici, per 2-5 giorni e viene misurata la velocità di consumo dell'ossigeno da parte della biomassa ($\text{mg O}_2/\text{kg SV}^6\cdot\text{h}$). Se il metodo è dinamico vi è insufflazione di aria attraverso il campione. I valori di IRD del primo set di campioni sono: 1° campione $3488 \text{ mg O}_2/\text{kg SV}^6\cdot\text{h}$, 2° campione $5203 \text{ mg O}_2/\text{kg SV}^6\cdot\text{h}$, 3° campione $3678 \text{ mg O}_2/\text{kg SV}^6\cdot\text{h}$, 4° campione $957 \text{ mg O}_2/\text{kg SV}^6\cdot\text{h}$. Mentre quelli del secondo set sono: 1° campione $3235 \text{ mg O}_2/\text{kg SV}^6\cdot\text{h}$, 2° campione $5075 \text{ mg O}_2/\text{kg SV}^6\cdot\text{h}$, 3° campione $3950 \text{ mg O}_2/\text{kg SV}^6\cdot\text{h}$, 4° campione $1120 \text{ mg O}_2/\text{kg SV}^6\cdot\text{h}$.

Il primo set di valori sono stati usati per tarare il modello, imponendo il passaggio della curva il più vicino possibile a quei valori. Il secondo set di controllo, anche se ci si aspetta che i valori non si discostino tanto dai precedenti.

I parametri che era possibile variare, relativamente alla cinetica di Michaelis-Menten sono P_{max} ovvero la velocità massima di crescita batterica in giorni^{-1} , K_p costante di semisaturazione $\text{mg substrato}/\text{m}^3$ e Y_b rendimento di crescita. Questi sono stati assunti $P_{\text{max}}=0.275 \text{ giorni}^{-1}$, $K_p=65000 \text{ mg substrato}/\text{m}^3$ e $Y_b=0.7$. Gli andamenti di IRD che si sono ottenuti sono i seguenti.

⁶ SV: Solidi Volatili, frazione della sostanza secca volatile a 550°C

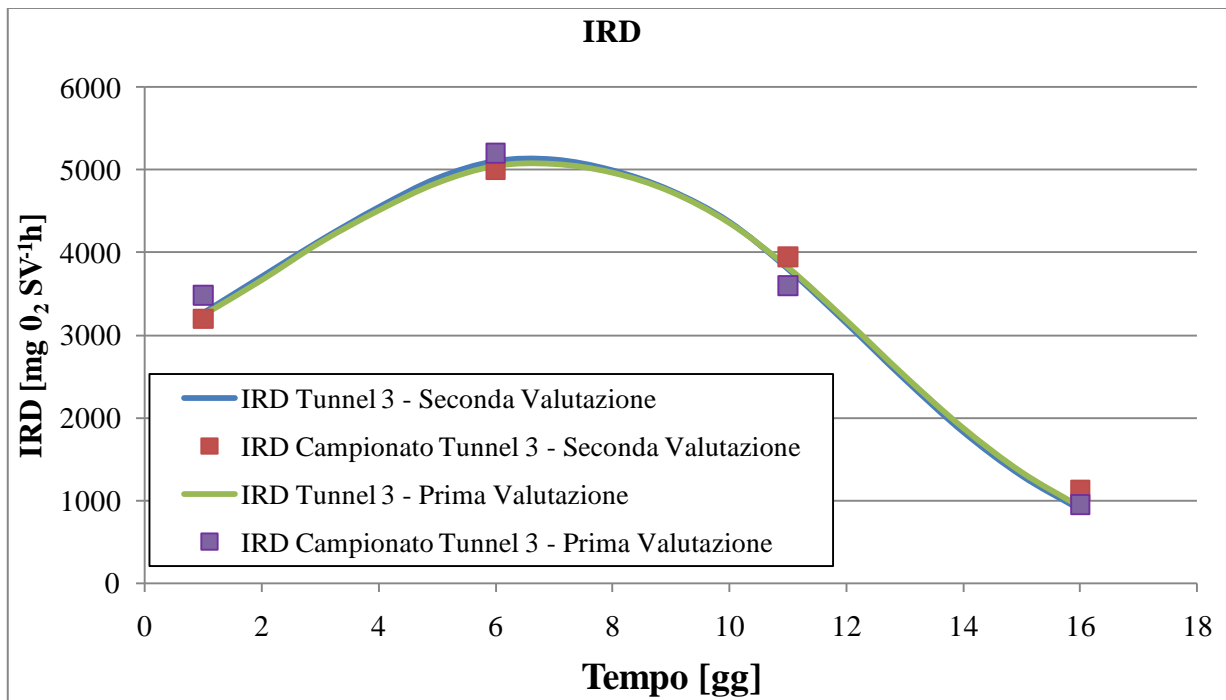


Grafico 6.2: Andamenti dell'IRD, nei due carichi successivi

Quello che emerge è che i valori siano pressappoco simili, ovviamente in relazione al fatto che il processo è gestito in maniera simile.

L'analisi è stata fatta per avere un'idea dei valori dell'IRD durante il processo, e quindi verificare se il processo evolve sempre in modo ottimale. Inoltre tali valori sono in linea con quanto ci si aspetta che avvenga nella matrice: infatti la matrice non trattata ha valori di IRD abbastanza elevati (lontana dalla stabilità, limite superiore 1000 mg O₂/kg SV*h), poi secondo quanto ci si aspetta la biomassa attiva inizia a degradare substrato, consumando ossigeno quindi i valori dell'IRD aumentano, essendo questo indice dell'attività metabolica dei microorganismi, questo fin tanto che i composti più prontamente degradabili non esauriscono e a questo punto l'attività microbica rallenta e l'IRD diminuisce. Alla fine del processo nel rispetto della normativa l'IRD non deve superare $1000 \pm 30\%$ mg O₂/kg SV*h, per essere considerato stabile e questo in effetti si verifica.

Conclusioni

Pur volendo fare ogni tentativo per rilanciarne il mercato, il compost a priori versa in una posizione critica, in quanto non solo deve essere in grado di vincere la concorrenza di prodotti già ben affermati presso gli utilizzatori agricoli, ma deve anche recuperare una certa immagine al fine di poter superare lo scetticismo e le diffidenze degli agricoltori, che respingono qualsiasi prodotto originato da rifiuti. In questi ultimi tempi però lo sviluppo normativo che ha regolato il sistema di compostaggio, definendo con dati tangibili i prodotti di qualità da quelli non tali, ha molto migliorato la situazione. Imponendo infatti requisiti di qualità e l'ottenimento di marchi per la produzione di compost che li rispetti ha spinto i prodotti a raggiungere livelli, anche dal punto di vista tecnologico sempre maggiori.

Inoltre l'ingente produzione di rifiuti, soprattutto biodegradabili da raccolta differenziata, ha orientato il sistema di gestione dei rifiuti sempre più verso un'ottica di recupero di materia, più che di smaltimento in discarica, e proprio in questa ottica rientra il sistema di compostaggio.

Inoltre i problemi relativi alla scarsità di materia organica nei terreni anche della nostra regione hanno spinto verso un sempre più crescente utilizzo degli ammendanti compostati di qualità, essendo questi ricchi di sostanza organica.

Quindi per concludere è possibile sostenere che trasformare gli scarti organici in compost può essere uno dei modi per contribuire in modo significativo all'uso sostenibile delle risorse. L'impiego del compost come ammendante sui terreni, oltre a mantenerne la fertilità, permette di ridurre l'impiego di risorse non rinnovabili utilizzate per produrre fertilizzanti chimici, riducendo allo stesso tempo la quantità di scarti organici da avviare alle operazioni di smaltimento. Da non sottovalutare poi il ruolo che il compost svolge relativamente ai problemi legati alle emissioni di gas serra. Infatti poiché è stato stimato che il 14% del rilascio netto di carbonio generato dalla combustione di fonti fossili sia riconducibile alle attività agricole, tale settore può svolgere un ruolo importante nella mitigazione delle emissioni climalteranti. In particolare sono stati individuati 3 azioni per ridurre le emissioni in ambito agricolo:

- la riduzione delle emissioni dirette prodotte dalle modalità di lavorazione dei terreni e la riduzione delle emissioni indirette dovute all'intensivo utilizzo di pesticidi e fertilizzanti;
- il sequestro di carbonio tramite l'apporto della sostanza organica;
- sostituzione dei combustibili fossili con biocarburanti.

Il ruolo del compost in quest'ambito risulta particolarmente importante per contribuire a realizzare i primi due aspetti. Per quanto concerne la prima azione l'uso del compost favorisce:

- la riduzione dell'utilizzo di fertilizzanti di sintesi (grazie all'accumulo nel suolo di elementi nutritivi in forma organica a lento rilascio);
- la riduzione dell'uso di pesticidi (grazie al potere fitorepressivo);
- il miglioramento delle proprietà fisiche del suolo, che favorisce una più facile lavorazione dello stesso, riducendo anche le operazioni meccaniche per la preparazione;
- la riduzione delle fasi di irrigazione grazie all'incremento della capacità di ritenzione idrica dei suoli.

In merito alla seconda azione va sottolineata l'importanza del compost quale fonte di accumulo di carbonio organico nel suolo a lento rilascio. Al contrario la diminuzione rapida di carbonio organico nei suoli comporta non solo una riduzione progressiva della fertilità del suolo, ma anche il rilascio in breve tempo di un flusso netto di CO₂ in atmosfera.

Per tutti questi motivi è necessario incrementare, favorire e sviluppare sempre più il sistema di compostaggio, insieme alla raccolta differenziata ai trattamenti meccanici biologici, nell'ottica di gestione integrata dei rifiuti e recupero di materia.

Bibliografia

Gianni Luigi Bragadin, Maurizio Luca Mancini – *Depurazione e smaltimento degli scarichi urbani: Dispense tecniche* . Pitagora Editrice Bologna, 2007;

Giornate Europee di studio sull'ambiente (diversi autori), *Ingegneria della trasformazione in compost*, C.I.P.A. Editore, 1994;

Apat-O.N.R. - *Rapporto Rifiuti 2007*. 2008;

Arpa E.R. - *La gestione dei rifiuti in Emilia-Romagna Report 2008*. 2008;

Centemero M., Grosso M., Vismara R. – *Compost ed energia da biorifiuti*. 2009; Ed. Dario Flaccovio

Istituto agrario provinciale di San Michele all'Adige - *Corso di aggiornamento e specializzazione: "Produzione e impiego del compost"*

Chongrak, Polprasert – *Organic waste recycling*. 1996, 2.ed.

Raffaello Cossu, Luis F. Diaz, Rainer Stegmann - *Sardinia 2009 : Twelfth international waste management and landfill symposium : Executive summaries*. Cisa, 2009;

D'Imporzano G., Adani F. - *Qualità del compost: influenza del grado di stabilità sul contenuto di Enterobatteriacee totali*. Rifiuti Solidi, XIX (6) (2005);

F. Adani - *La stabilità biologica del compost: indice di respirazione come parametro di processo*. Centro Scientifico Italiano dei Fertilizzanti

Sitografia

<http://www.osservatorionazionale rifiuti.it>

<http://www.apat.gov.it>

<http://www.arpa.emr.it>

<http://www.regione.emilia-romagna.it>

<http://www.rifiutilab.it>

<http://www.ambientediritto.it>

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>

<http://www.borsarifiuti.com>

<http://www.compost.it>

Ringraziamenti

Eccoci finalmente alla mia parte preferita: i ringraziamenti.

In effetti non so bene da dove iniziare, ma da qualcuno bisognerà pur partire, quindi direi.....

.....un grazie enorme alla mamma e al papà, che fino a prova contraria sono coloro che mi hanno dato la possibilità di arrivare fino a questo punto, con il loro sostegno e i loro sacrifici. Grazie mille vi voglio tanto tantissimo bene! Spero di riuscire a ripagarvi di tutto, in qualche modo.

Un grazie alla Valle, che poverina anche lei mi ha sempre sopportato, anche nei momenti di ira e di sclero per un esame, facendo finta di niente, ma adesso anche lei capirà cosa vuol dire... E comunque Valle in bocca al lupo per il tuo avvenire... Ti voglio bene

Un super-mega-stra grazie a Topi.... Topi ti ringrazio per l'aiuto enorme che mi hai dato sempre, su tutti i fronti, fino all'ultimo(sai tu perché... non diciamolo che è meglio!!!!) Per questo e per tutto il resto ti amo tanto e ti ringrazio di tutto.... per fortuna che ci sei!!!

Un grazie alle mie care amiche Wo e Gozzi, grazie per aver superato il momento di discordia che si era creato tra noi e per aver ricominciato da capo insieme, come una volta.

Relativamente alla Wo, ci sarebbe da ringraziare anche il suo papà, nonché Ing. Massimo Pradelli, per la sua collaborazione nel pre e speriamo post tesi! Grazie!

Un ringraziamento molto sentito va ovviamente anche al mio relatore, Prof.Ing. Mancini, di prezioso aiuto per la stesura della tesi e per gli incoraggiamenti di questi ultimi tempi.

Un grazie grandissimo anche a Nando, a MIki, all'Andrea, a Marco e a tutti gli altri miei compagni di corso, per aver reso questi due anni a Bologna migliori... Nando in particolare poveretto non vedeva l'ora finissero per non vedermi e sentirmi più!!!!

Per chi non ho nominato grazie comunque, di cuore, a tutti.

Incredibilmente la IA è ingegnere... non ci si può credere, eppure è così...Speriamo bene.....

Ah beh.....Grazie piccola cara Pollina. Mi raccomando non fare scherzi!!!!

Grazie a tutti

“Ing. Milvy”