

## CAPITOLO 2

### LA FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI URBANI

#### 2.1 Il rifiuto urbano

E' opportuno, prima di affrontare l'argomento specifico, un inquadramento della matrice di riferimento: il rifiuto urbano. Esso rappresenta uno dei flussi solidi più importanti da inviare a smaltimento, sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo.

La produzione dei rifiuti urbani in Italia nel 1999 è pari a 28.4 milioni di tonnellate facendo rilevare un incremento, rispetto al 1998, del 5.7% il più elevato del periodo 1996-1999, che mostra complessivamente una crescita della produzione di rifiuti del 9.3% pari al 3.1% annuo (Tabella 2.1). La produzione pro capite su base nazionale risulta pari a 491.75 kg/abitante per anno, 1.347 kg/abitante per giorno, al di sotto della media europea di 507 kg/abitante per anno.

**Tabella 2.1 Rifiuti urbani: produzione totale e pro capite, 1998-1999**

REGIONE	Produzione e pro capite di Rifiuti Urbani, 1998 1999			
	1998		1999	
	produzione (t/anno)	pro capite [(kg/ab.*anno)]	produzione (t/anno)	pro capite [(kg/ab.*anno)]
Piemonte	1.915.947,06	446,81	2.006.853,40	468,07
Valle d'Aosta	60.317,89	502,68	62.614,47	520,30
Lombardia	4.057.271,70	449,36	4.279.974,33	472,12
Trentino Alto Adige	510.041,80	548,68	508.271,86	542,88
Veneto	2.024.520,40	451,14	2.112.601,32	468,25
Friuli Venezia Giulia	540.700,16	456,7	572.479,90	483,04
Liguria	869.445,04	532,57	898.758,00	552,79
Emilia Romagna	2.267.077,00	572,53	2.413.949,06	606,35
Toscana	1.965.042,63	556,9	2.105.665,32	595,43
Umbria	431.205,00	517,86	422.107,94	505,22
Marche	736.230,00	505,84	761.010,61	520,89
Lazio	2.708.378,57	515,39	2.779.685,84	528,05
Abruzzo	544.934,71	426,62	608.994,94	476,14
Molise	111.558,24	339,1	113.929,93	347,36
Campania	2.456.081,24	424	2.561.545,68	443,10
Puglia	1.448.566,96	354,48	1.802.607,69	441,25
Basilicata	233.397,25	383,97	218.822,06	360,98
Calabria	736.900,13	356,9	821.128,97	400,46
Sicilia	2.480.571,23	486,55	2.552.726,72	501,74
Sardegna	747.538,70	451,83	760.185,54	460,19
<b>Italia</b>	<b>26.845.725,71</b>	<b>465,97</b>	<b>28.363.913,58</b>	<b>491,75</b>

Il quadro di dettaglio relativo alla raccolta differenziata nel nostro Paese evidenzia che sono stati raccolti in maniera differenziata 3.7 milioni di t/anno di rifiuti pari al 13.08% della produzione totale (Tab 2.2); rispetto al 1998 si è quindi registrato un aumento della quota percentuale dell'1.9%.

Si conferma il divario tra Nord e Sud, già riscontrato nel triennio 1996-1998, l'analisi dei dati evidenzia infatti che il Nord si avvicina, con una percentuale pari al 23.11%, all'obiettivo fissato dal D.lgs.22/97 per il 2001, nel Centro troviamo un valore pari al 9.02%, mentre il Sud pur registrando un aumento più elevato rispetto al biennio 97/98, continua a presentare valori lontanissimi degli obiettivi fissati dal decreto legislativo 22/97 (2.02%).

La tabella 2.2 rappresenta una sintesi delle variazioni riscontrate a livello regionale con riferimento alla produzione totale, alla raccolta differenziata e degli ingombranti nel biennio 1998-1999.

**Tabella 2.2 Rifiuti urbani. Produzione e raccolta differenziata confronto 1998-1999, per Regione**

Rifiuti urbani confronto 1998-1999 per regioni									
Regione	Produzione RU totale 1998 (t*1000/anno)	Produzione RU totale 1999 (t*1000/anno)	Variazione % 1999/1998	% Racc. Diff 1998(**)	% Racc. Diff. 1999(**)	Increment. o Decrem % RD	% Racc. Ingombr. 1998	% Racc. Ingombr. 1999(*)	Increment. o Decrem %Racc. ingombr.(*)
PIEMONTE	1.915,95	2.006,85	4,74	11,00	14,96	3,96	2,44	0,47	-1,97
VALLE D'AOSTA	60,32	62,61	3,81	10,27	12,27	2,00	0,00	0,00	0,00
LOMBARDIA	4.057,27	4.279,97	5,49	30,82	33,27	2,45	6,38	7,04	0,66
TRNTINO A.A.	510,04	508,27	-0,35	14,70	19,12	4,42	1,41	7,60	6,19
VENETO	2.024,52	2.112,60	4,35	19,54	23,87	4,33	0,00	0,00	0,00
FRIULI V.G.	540,70	572,48	5,88	12,70	16,05	3,35	1,18	3,65	2,47
LIGURIA	869,45	898,76	3,37	8,36	9,49	1,13	0,19	0,09	-0,10
EMILIA R.	2.267,08	2.413,95	6,48	14,80	19,09	4,29	2,28	3,02	0,74
TOSCANA	1.965,04	2.105,67	7,16	13,13	16,80	3,67	0,09	0,00	-0,09
UMBRIA	431,21	422,11	-2,11	6,31	10,09	3,78	1,56	0,00	-1,56
MARCHE	736,23	761,01	3,37	7,46	7,36	-0,10	1,45	1,37	-0,08
LAZIO	2.708,38	2.779,69	2,63	4,22	3,42	-0,80	0,11	0,17	0,06
ABRUZZO	544,93	608,99	11,76	2,64	4,31	1,67	0,00	1,84	1,84
MOLISE	111,56	113,93	2,13	1,37	1,96	0,59	0,23	0,10	-0,13
CAMPANIA	2.456,08	2.561,55	4,29	1,56	1,05	-0,51	0,00	0,00	0,00
PUGLIA	1.448,57	1.802,61	24,44	2,75	3,70	0,95	0,22	0,18	-0,04
BASILICATA	233,40	218,82	-6,24	3,06	2,25	-0,81	0,08	0,00	-0,08
CALABRIA	736,90	821,13	11,43	0,65	0,68	0,03	0,04	0,48	0,44
SICILIA	2.480,57	2.552,73	2,91	1,00	1,90	0,90	0,05	0,66	0,61
SARDEGNA	747,54	760,19	1,69	0,97	1,26	0,29	0,02	0,00	-0,02
<b>ITALIA</b>	<b>26.845,73</b>	<b>28.363,91</b>	<b>5,66</b>	<b>11,20</b>	<b>13,08</b>	<b>1,88</b>	<b>1,49</b>	<b>1,74</b>	<b>0,25</b>
(*) Percentuale sul totale della raccolta									
(**) Percentuale sul totale della raccolta senza selettiva									

L'analisi dei dati evidenzia un incremento diffuso delle percentuali di raccolta differenziata in molti casi significativo; solo le regioni Basilicata, Lazio, Campania e Marche fanno registrare una lieve flessione della raccolta.

Le Province si distribuiscono in maniera estremamente disomogenea rispetto agli obiettivi previsti dal decreto legislativo 22/97, infatti nel 1999 il 34% delle province presenta una quota di raccolta uguale o superiore al 15%, 5 province presentano valori percentuali superiori al 35% rispetto alle tre del 1998.

Per quanto riguarda la raccolta differenziata delle singole frazioni merceologiche l'analisi dei dati evidenzia un considerevole aumento della raccolta della carta (+20% rispetto al '98) che raggiunge 1.2 milioni di tonnellate, seguita dalla frazione organica, che con oltre 1.1 milioni di tonnellate fa registrare un aumento percentuale del 24.8%.

Tale significativo incremento dimostra come il progredire della raccolta differenziata sia strettamente legato all'attivazione del circuito di raccolta della frazione organica. Riguardo alle altre frazioni si evidenzia per l'alluminio l'aumento percentuale più elevato (+38%), la plastica, la cui raccolta era cresciuta nel 1998 in maniera significativa (+56% rispetto ) fa registrare un aumento più contenuto (+6%) mentre riprende la raccolta del vetro (+9%).

Si possono quindi evidenziare due tipologie di frazione organica dei RU, ognuna con caratteristiche diverse a seconda del sistema di raccolta:

- indifferenziata con separazione meccanica
- differenziata proveniente da grandi utenze (mense, mercati, ecc.) e di provenienza domestica.

I paragrafi seguenti prendono in esame queste due matrici, mettendo in luce le principali differenze fisiche, chimiche e biologiche.

### 2.1.1 La frazione organica da selezione meccanica

La selezione meccanica della frazione organica è stata utilizzata in maniera abbastanza estesa nel nostro paese durante gli ultimi 20 anni, con il duplice scopo di ottenere una frazione organica con buone caratteristiche di putrescibilità ed una frazione di materiale ad alto potere calorifico da utilizzare come combustibile (CDR, combustibile derivato dai rifiuti).

Gli impianti di selezione in grado di produrre questo materiale possono essere suddivisi essenzialmente in tre categorie (CITEC, 2000), secondo quanto riportato in tabella 2.3.

Tabella 2.3. Tipologie di impianti di separazione meccanica (CITEC, 2000).

Tipo di impianto:	Descrizione
<b>Impianti di tipo semplificato</b>	Sono impianti semplici, costituiti essenzialmente da un trituttore primario (rompisacchi) e da un vaglio, normalmente un vaglio rotante unico, con diametro dei fori da 50 a 100 mm) ed un deferrizzatore. Da questi impianti si ottengono tre flussi: un sovrvallo, costituito essenzialmente da frazioni secche (carta, plastica e poca presenza di materiali putrescibili) da inviare a termovalorizzazione senza altri trattamenti, una frazione organica (sottovaglio) da destinarsi a trattamenti biologici, preferibilmente dopo una ulteriore raffinazione, ed infine un flusso di recupero di materiali ferrosi.
<b>Impianti mediamente complessi</b>	Sono costituiti da una sequenza di operazioni più complessa che prevede almeno uno stadio di riduzione della pezzatura, una deferrizzazione e più operazioni di vagliatura. Impianti con questa concezione sono in grado di produrre un sovrvallo da inviare a termovalorizzazione o discarica, una frazione organica proveniente dai flussi intermedi di vagliatura da inviare a trattamenti biologici ed in seguito da utilizzare come materiale di copertura di discariche, un sottovaglio simile a quello ottenibile con gli impianti di tipo semplificato ed infine un recupero di materiali ferrosi da inviare a riciclaggio
<b>Impianti complessi</b>	Prevedono una linea di selezione completa, quindi riduzione di pezzatura, deferrizzazione, vagli a più stadi, tritutori della frazione secca e pellettizzatrici per la produzione di CDR in pellets. I prodotti di queste linee sono ovviamente più raffinati, e quindi la frazione organica ottenuta in questo modo si presta maggiormente a valorizzazione attraverso processi biologici.

Le caratteristiche della frazione organica da selezione meccanica sono influenzate dal tipo di impianto di produzione, oltre che, ovviamente, dalla qualità del materiale in ingresso e, purtroppo, non sono disponibili in letteratura molti dati di caratterizzazione di queste matrici. Si riporteranno quindi i dati (nella disponibilità degli autori) relativi al prodotto ottenuto da una linea di selezione classificabile come ‘impianto complesso’, in cui la sequenza di operazioni adottata prevede molti passaggi e la raffinazione ottenibile dei materiali è relativamente elevata nel contesto della selezione meccanica. Lo schema di figura 2.1 illustra il funzionamento dell’impianto.

Il substrato ottenuto in uscita dalla linea di selezione è stato caratterizzato, nel corso di diversi anni di ricerche, sotto gli aspetti chimico-fisici e merceologici (Tabelle 2.4-2.5)

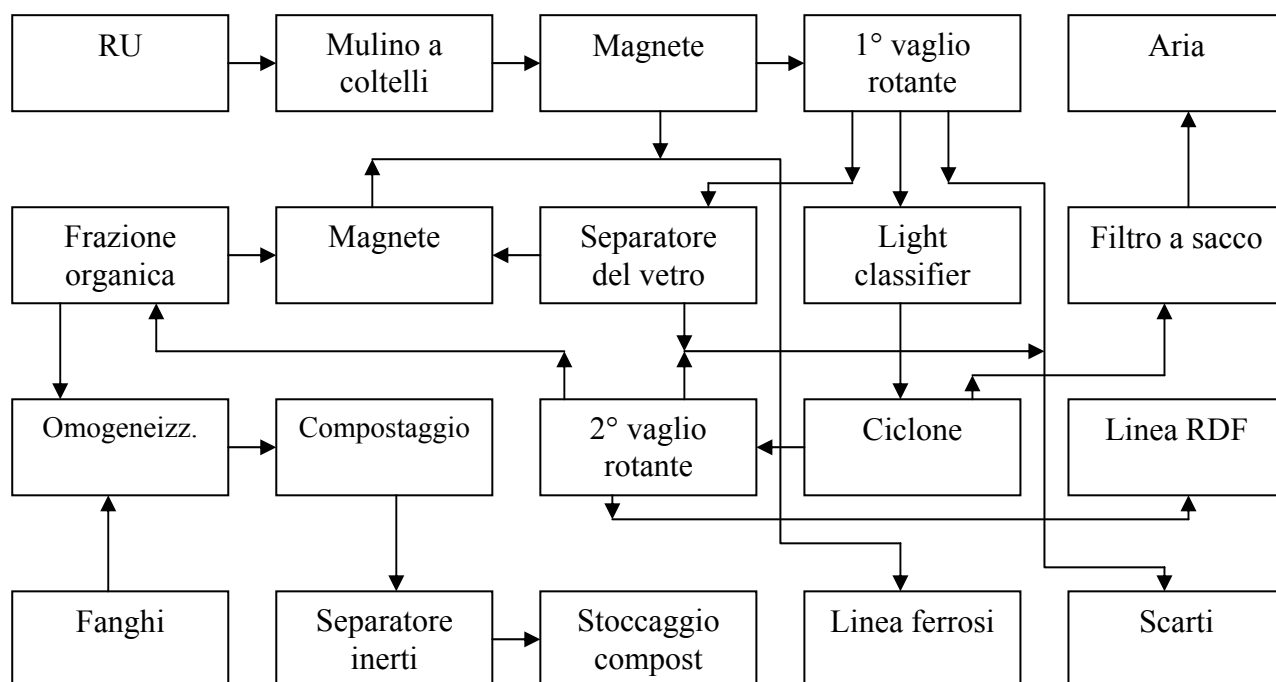


Figura 2.1. Schema di funzionamento di un impianto di selezione complesso a servizio della produzione di compost (Cecchi et al., 1991)

**Tabella 2.4. Caratteristiche chimico - fisiche della frazione organica proveniente da un impianto di selezione di tipo complesso**

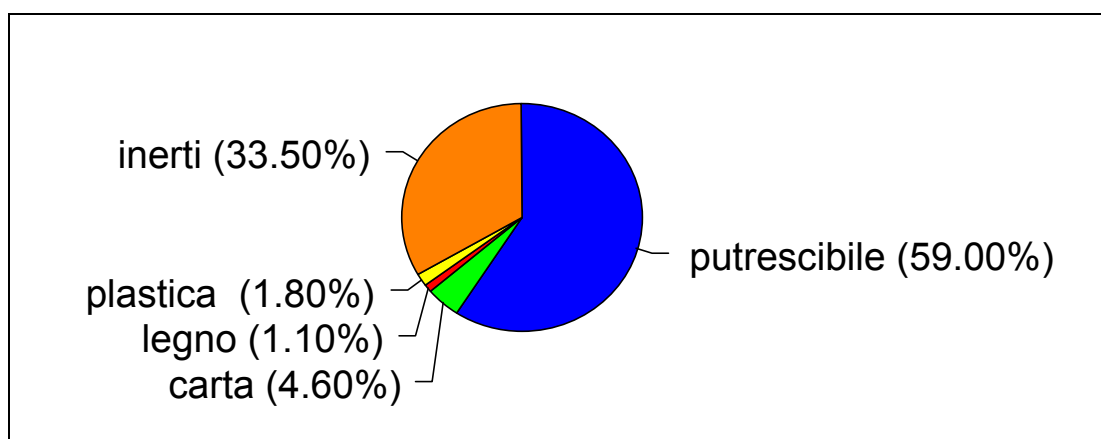
	media	massimo	minimo	N° campioni	Dev.standard
TS, g/kg	763.0	952.0	513.1	210	81.3
TVS, %TS	43.9	57.4	29.1	210	5.4
TCOD, %TS	59.6	90.4	23.3	41	17.4
TOC, %TS	19.3	34.4	7.5	187	5.3
IC, %TS	1.3	2.7	0.3	187	0.5
TKN, %TS	2.2	3.4	1.2	59	0.5
P, %TS	0.11	0.22	0.05	59	0.03

TS = solidi totali; TVS = solidi volatili totali; TCOD = COD totale; TOC = carbonio organico totale; IC = carbonio inorganico; TKN = azoto totale secondo Kjeldahl; P = fosforo totale.

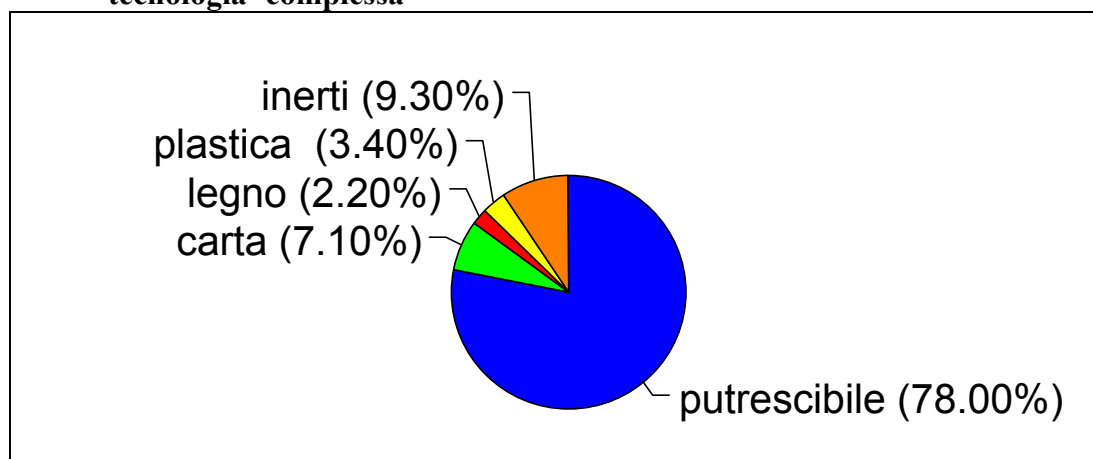
Come si può evincere dai dati presentati, la frazione organica da selezione meccanica ha un elevato contenuto in solidi rispetto ai valori normalmente caratterizzanti le frazioni putrescibili pure del rifiuto urbano (vedi paragrafo 2.1.2): ciò è imputabile alla importante presenza di frazioni inerti nel substrato indifferenziato, non completamente separabili attraverso questo approccio se non durante la raffinazione del compost. Questo aspetto risulta molto più evidente se si considera la percentuale di solidi volatili (TVS), che difficilmente raggiunge il 50% dei solidi totali (TS). Dal punto di vista merceologico, la tabella 2.5 e le figure 2.2a e 2.2b riportano la ripartizione percentuale delle varie frazioni in termini di solidi totali e volatili. Sono state considerate cinque frazioni: materiale putrescibile, carta, legno, plastica ed inerti. La presenza di importanti frazioni di materiali inerti è confermata ampiamente da questi risultati: circa il 40% del substrato sulla base dei TS è praticamente inutilizzabile ai fini del processo di digestione anaerobica, non subendo alcuna trasformazione durante il processo. Essi inoltre saranno presenti nel fango stabilizzato in uscita dal digestore, rendendone più difficile il possibile recupero agronomico. Dal punto di vista della distribuzione merceologica dei TVS, si nota come circa l'80% derivi dalla frazione putrescibile, a conferma del fatto che le rimanenti frazioni sono coinvolte poco o nulla nel processo biologico.

**Tabella 2.5. Caratteristiche merceologiche della frazione organica da selezione meccanica. I risultati sono espressi come contributi in TS e TVS di ciascuna frazione al totale.**

	<b>%TS</b>	<b>%TVS</b>
Putrescibile	59.0	78.0
Carta	4.6	7.1
Legno	1.1	2.2
Plastica	1.8	3.4
Inerti	33.5	9.3
<b>Totale</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>



**Figura 2.2a. Ripartizione percentuale dei TS nella frazione organica da impianto a tecnologia 'complessa'**



**Figura 2.2b. Ripartizione percentuale dei TVS nella frazione organica da impianto a tecnologia 'complessa'.**

La tabella 2.6 riporta una sintesi dei risultati ottenuti con una linea di selezione 'mediamente complessa', operante in tempi diversi con vaglio a maglie più strette e più larghe.

Riguardo al rifiuto ottenuto con il vaglio a maglie più strette, i dati chimico-fisici indicano che esso presenta caratteristiche confrontabili con quelle relative alla frazione organica da selezione meccanica di altri impianti. In particolare si confrontino i dati con quelli relativi all'impianto 'complesso'.

**Tabella 2.6. Caratterizzazione chimico fisica del rifiuto proveniente da impianto di tipo ‘semplice-mediamamente complesso’.**

	<b>TS kg/kg</b>	<b>TVS g/kg</b>	<b>TVS/TS %</b>	<b>TCOD kgO<sub>2</sub>/kg</b>	<b>TKN %TS</b>	<b>P %TS</b>
Vaglio a maglie minori	0.54	0.27	47.0	0.6	1.1	0.1
Vaglio a maglie maggiori	0.50	0.33	68.0	1.0	0.7	0.4

Riguardo al set di dati relativo al rifiuto ottenuto con il vaglio maggiore, va osservato che il contenuto in solidi volatili aumenta significativamente in termini percentuali rispetto ai campioni ottenuti con il vaglio a maglie minori (da 47 a 68%). La ragione di questo può essere ricercata in un arricchimento della frazione organica, specialmente a carico della frazione cellulosica, come poi evidenziato dalle analisi merceologiche e anche suggerito dalla diminuzione del tenore di azoto.

La tabella 2.7 riporta i risultati ottenuti dalla caratterizzazione e la figura 2.3 illustra graficamente le ripartizioni delle varie classi merceologiche del rifiuto relativamente ai campioni ottenuti con vaglio a maglie minori

**Tabella 2.7. Caratterizzazione merceologica del rifiuto selezionato con vaglio a maglie di sezione ridotta in linea di selezione ‘semplice-mediamamente complessa’**

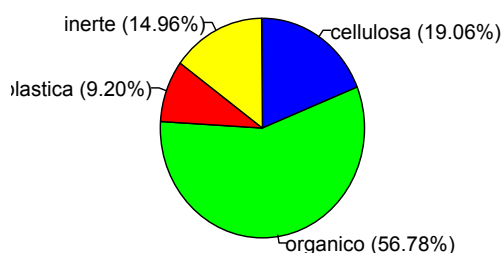
<b>Frazione</b>	<b>TS kg/kg</b>	<b>TVS kg/kg</b>	<b>TVS/TS %</b>	<b>Ripartizione TQ %</b>	<b>Ripartizione TS %</b>	<b>Ripartizione TVS %</b>
Cellulosica	0.5	0.3	67.0	19	17	27
Organica	0.4	0.3	62.0	57	43	58
Plastica	0.9	0.5	56.0	9	13	11
Inerte	0.9	0.7	7.0	15	26.6	4

Le ripartizioni ricavate confermano le indicazioni date dalle analisi di caratterizzazione chimico fisica; cioè la presenza di importanti frazioni di plastiche ed inerti (circa il 40% del totale su base TS). La tabella 2-8 riporta i risultati delle prove merceologiche relativamente al campione ottenuto con vaglio a maglie maggiori, così come la figura 2.4.

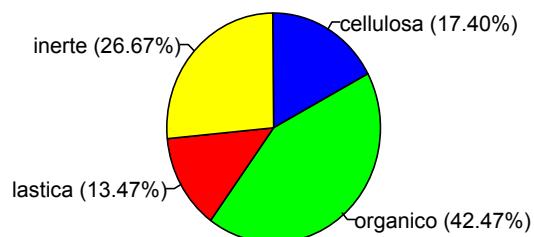
**Tabella 2-8. Analisi merceologiche relative al campione ottenuto con vaglio con maglie maggiori**

<b>Frazione</b>	<b>TS (kg/kg)</b>	<b>TVS (kg/kg)</b>	<b>TVS/TS %</b>	<b>Ripartizione TQ (%)</b>	<b>Ripartizione TS (%)</b>	<b>Ripartizione TVS (%)</b>
Cellulosica	0.6	0.5	82.0	47	48	55
Organica	0.4	0.3	72.0	35	24	25
Plastica	0.8	0.7	88.0	10	15	19
Inerte	0.9	0.03	3.0	7.4	13	1

### Ripartizione sul tal quale



### Ripartizione su base TS



### Ripartizione su base TVS

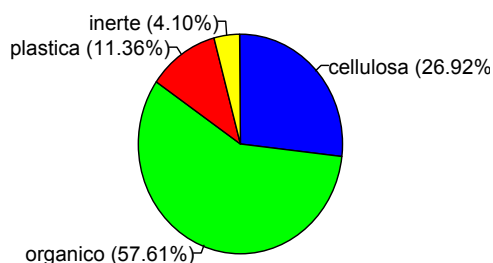
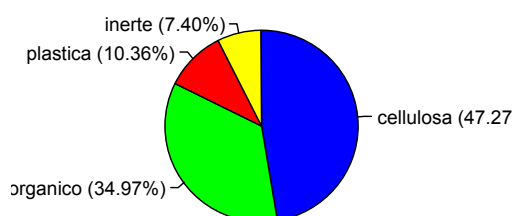


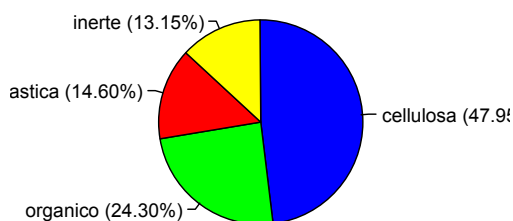
Figura 2.3.

Ripartizione percentuale delle classi merceologiche sui campioni ottenuti con vaglio minore con linea di selezione 'semplice-mediamente complessa'.

### Ripartizione sul tal quale



### Ripartizione sui TS



### Ripartizione sui TVS

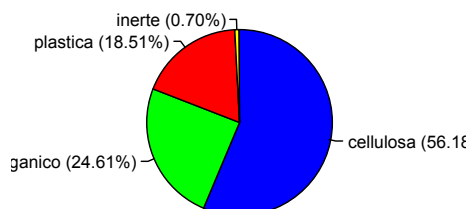


Figura 2.4

Ripartizione percentuale delle classi merceologiche sui campioni ottenuti con vaglio a maglie maggiori con impianto 'semplice-mediamente complesso'.

I risultati riportati mettono in luce l'effetto tipico derivante dall'adozione di selezione meccanica a valle di una raccolta indifferenziata del rifiuto. Come si può notare, infatti, i contenuti in frazioni inerti sono decisamente elevati in entrambi i casi, a prescindere dal tipo di vaglio utilizzato.

### 2.1.2 La frazione organica da raccolta differenziata

La frazione organica proveniente da raccolta differenziata può essere suddivisa in due tipologie: quella proveniente da grandi utenze e quella di provenienza domestica. Questi due tipi di frazione organica sono, generalmente, trattati assieme non esistendo, nel nostro paese, una differenziazione nella strategia di raccolta. E' tuttavia possibile, sul piano analitico, evidenziare delle differenze tra i due substrati.

La frazione organica proveniente da grandi utenze è normalmente caratterizzata da un grado di selezione piuttosto elevato, il che risulta evidente considerando, ad esempio, i dati riportati in tabella 2.9 riguardanti il grado di selezione raggiunto nella zona di Milano.

Tabella 2.9. Caratteristiche della frazione organica da grandi utenze raccolta nella zona di Milano (Cecchi et al., 1997).

Comune	Abitanti	Materiali non compostabili (%)	Materiali compostabili (%)
Abairate	3.808	1.1	98.9
Albiate	4.713	1.2	98.8
Arese	19.230	1.9	98.1
Bellusco	5.971	1.6	98.4
Biassono	10.493	5.0	95.0
Brugherio	30.800	1.2	98.8
Buccinasco	23.890	3.5	96.5
Castano primo	9.652	0.7	99.3
Cinisello Balsamo	75.650	1.8	98.2
Cologno monzese	50.121	7.0	93.0
Corbetta	13.516	1.2	98.8
Desio	38.849	1.0	99.0
Lainate	22.236	0.7	99.3
Melegnano	16.112	2.0	98.0
Misinto	3.865	0.6	99.4
Monza	119.187	2.6	97.4
Novate Milanese	20.028	5.7	94.3
Paterno Dugnano	44.748	6.3	93.7
Rosate	4.332	2.6	97.4
Trezzo sull'Adda	11.177	1.9	98.1
Trucazzano	4.062	1.4	98.6
Varedo	12.720	0.3	99.7
Villasanta	12.446	0.3	99.7
Vimercate	25.700	0.7	99.3

Si noti che quasi sempre il grado di indesiderabili non raggiunge il 5% del totale. La tabella 2.10 riporta una sintesi di dati di letteratura sulla caratterizzazione di questi materiali.



Tabella 2.10. Caratteristiche della frazione organica da grandi utenze riportate in alcuni esempi di letteratura.

<b>Riferimento bibliografico</b>	<b>TS %</b>	<b>TVS %TS</b>	<b>N %TS</b>	<b>P %TS</b>
De Baere, 2000	31	70	-	-
Kubler et al., 1999	29	63	2.2-3.4	0.4-0.6
CITEC, 2000(*)	17-25	70-90	-	-
CITEC, 2000(**)	7-15	80-90	1.5-3	1-3

(\*) provenienza domestica, (\*\*) da grandi utenze

Ricerche effettuate utilizzando rifiuti provenienti da raccolta differenziata presso la municipalità di Treviso hanno evidenziato presenze importanti di scarti di cucina (pasta, pane, residui di lavorazione di verdura e frutta) con contenuti in TS medi intorno al 25%, e contenuti in sostanza volatile pari all'80%.

La tabella 2.11 riporta i risultati di caratterizzazione di una frazione organica raccolta presso una mensa.

Tabella 2.11. Caratteristiche della frazione organica raccolta presso mense (Cecchi et al., 1997)

<b>Parametro</b>	<b>Intervallo</b>	<b>Valore tipico</b>
TS, %	21.4-27.4	25.6
TVS, % TS	91.3-99.7	96.5
TCOD, gO <sub>2</sub> /gTS	1.2-1.3	1.2
TKN, % TS	2.6-3.7	3.2
Fosforo totale, % TS	0.13-0.28	0.2

Questo tipo di matrice è risultata particolarmente ricca in residui alimentari quali pane e pasta, che tendono a far aumentare il contenuto in secco del rifiuto. Frazioni organiche raccolte da mercati in cui vi sia smercio di prodotti ortofrutticoli, e quindi lavorazione degli stessi, risultano particolarmente ricche di scarti vegetali ad alto contenuto d'acqua: questa è la ragione per cui il tenore medio in secco di questa frazione spesso non raggiunge neppure il 10%, come si evince dai dati riportati in tabella 2.12, relativi al rifiuto proveniente da un mercato ortofrutticolo.

Tabella 2.12. Caratteristiche medie della frazione organica da mercato ortofrutticolo (Pavan et al., 2000)

	<b>media</b>	<b>massimo</b>	<b>minimo</b>	<b>n° campioni</b>	<b>dev.std.</b>
TS, g/kg	81.8	132.7	54.4	96	15.7
TVS, %TS	81.9	92.0	78.2	96	11.3
TCOD, gO <sub>2</sub> /gTS	1.0	1.5	0.7	32	18.1
TKN, %TS	2.1	3.3	1.4	23	0.5
P <sub>tot</sub> , %TS	2.8	3.3	1.3	23	0.5

E' pertanto evidente che il contenuto in secco della frazione organica da raccolte differenziate, intesa come miscela di grandi utenze o di rifiuti domestici, può essere anche molto variabile, in relazione al peso relativo della componente di residui di cucina ed ortofrutticoli. Alcuni esempi relativi a diverse campagne sperimentali sono riportati in tabella 2.13.

Analizzando i dati presentati nelle tabelle precedenti e tentando di dare un quadro complessivo sulla caratterizzazione chimico-analitica di questa matrice, si può affermare che mediamente la frazione organica da raccolte differenziate presenta un intervallo caratteristico di tenore in secco che va dal 10% (tipico dei rifiuti mercatali) fino al 20-25%, tipico dei rifiuti di mensa. La percentuale in volatili rimane pressoché costante, indipendentemente dalla composizione merceologica, intorno al 85-90% dei TS; analogamente, per i nutrienti si riscontrano valori del 2-3% TS per entrambi.

Tabella 2.13. Caratteristiche della frazione organica ottenute in diverse campagne di ricerca

	<b>Cecchi et al., 1989</b>	<b>Sans et al., 1995</b>
TS, g/kg	200	163.9
TVS, %TS	88	90
TCOD, gO <sub>2</sub> /gTS	1.1	1.1
TKN, %TS	3.2	2.1
Ptot, %TS	0.4	2.6

Una nota a parte va fatta riguardo alle possibili influenze derivanti dalla stagionalità sul substrato. A tale scopo può essere utile considerare i dati riportati in tabella 2.14 che riporta una sintesi dei risultati ottenuti riguardo alla caratterizzazione chimico fisica del rifiuto, ottenuta durante un anno di sperimentazione (Zorzi, 1997). Per questo substrato sono anche disponibili i contenuti in acidi grassi volatili, prodotti a seguito di fenomeni naturali di fermentazione che sono dell'ordine di alcune migliaia di mg/l, a testimoniare il veloce instaurarsi di fenomeni di pre fermentazione già nelle fasi di stoccaggio. Ciò che risulta evidente dall'analisi dei dati riportati, considerando in particolare quelli relativi alla fase solubile è che la stagionalità del substrato non sembra influire in modo determinante sulle caratteristiche, che rimangono su valori contenuti in intervalli relativamente ristretti.

Tabella 2.14. Caratteristiche chimico-fisiche della frazione organica analizzate durante il periodo di un anno (Zorzi, 1997).

	Ottobre - gennaio	Febbraio - maggio	Maggio - giugno	Giugno - luglio	Luglio - agosto	Agosto - settembre	Settembre - novembre	Novembre - dicembre	Dicembre - febbraio
T°, C	12.6	7.5	21.4	22.2	24.5	23.1	15.1	8.8	7.1
pH	4.7	4.9	5.0	4.7	4.0	4.32	4.3	4.3	5.0
TS, g/kg	95.4	93.6	96.3	94.7	88.6	105.8	103.4	102.6	97.3
TVS,%TS	91.5	94.5	89.2	88.9	90.0	92.2	90.6	90.9	91.2
TCOD, g/kg	99.2	101.3	100.4	88.7	95.5	108.6	106.7	108.5	101.7
SCOD, g/kg	39.3	53.3	45.1	44.4	42.7	49.7	51.7	51.2	60.1
TVFA, mgCOD/l	4092	4256	3948	3410	4062	7563	3023	3931	4563
TKN, g/kg	-	-	-	-	23.2	23.4	23.1	23.2	21.5
Ptot, g/kg	-	-	-	-	3.9	3.7	3.7	3.8	3.5

Un'ultima nota va rivolta alle caratteristiche biologiche di queste matrici. L'unico parametro che appare adatto a questa descrizione è la resa di conversione a tempo infinito, B<sub>0</sub>. La definizione di questo parametro non è immediata come per gli altri parametri di caratterizzazione e quindi è necessaria una introduzione del metodo di calcolo.

Considerando, per motivi di semplicità, una degradazione del substrato che segua una cinetica del primo ordine, l'equazione che descrive la scomparsa del substrato S sarà la nota:

$$\frac{dS}{dt} = -kS$$

dove k è la costante cinetica del primo ordine. Definendo B la produzione di metano al tempo t e B<sub>0</sub> la produzione di metano a tempo infinito, ovvero il massimo potenziale di conversione possibile per un dato substrato, possiamo scrivere la relazione (Chen e Hashimoto, 1978):

$$\frac{B_0 - B}{B_0} = \frac{S}{S_0}$$

che, introdotta nella precedente, per integrazione fornisce la seguente:

$$\frac{B_0 - B}{B_0} = \exp(-kt)$$

Questa equazione deve essere associata ai parametri operativi tipicamente in uso per un digestore. Considerando un reattore continuo completamente miscelato (CSTR), potremo scrivere il seguente bilancio di massa:

$$QS_0 - QS - Vks = 0$$

Dove V è il volume utile di reazione. Ora, ricordando che:

$$HRT = V/Q$$

E sostituendo nelle equazioni precedenti, possiamo ottenere la seguente relazione:

$$\frac{1}{B} = \frac{1}{B_0} + \frac{1}{B_0(HRT)k}$$

Considerando quindi diverse coppie di valori di B e HRT, e considerando una regressione tra gli inversi di questi valori, si ottengono B<sub>0</sub> e k per un dato substrato. Un esempio di valori di B<sub>0</sub> è riportato nella tabella 2.15, che mette a confronto le biodegradabilità delle diverse matrici finora considerate (Mata-Alvarez et al., 1992).

**Tabella 2.15. Valori di B<sub>0</sub> relativi alle diverse matrici finora considerate**

Provenienza	Fonte	B <sub>0</sub> , m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgTVS
da selezione meccanica	(Valorga, 1985)	0.301
	(De Baere e Verstraete, 1984)	0.321
	(Pauss et al., 1984)	0.397
	(Roux e Wakerley, 1978)	0.381
	(Cecchi et al., 1989)	0.158
da grandi utenze	(Mata-Alvarez e Cecchi, 1989)	0.445
domestica	(Cecchi et al., 1986)	0.401
	(Mata-Alvarez et al., 1992)	0.489

Dai dati di letteratura, si ricavano quindi i seguenti intervalli di produzione, espressi sia in termini di metano che di biogas prodotto. Considerando una percentuale del 55% di metano sul biogas prodotto si possono ottenere i valori riportati in tabella 2.16.

**Tabella 2.16. Rese di conversione a tempo infinito per i tre tipi di frazione organica**

Substrato:	Frazione organica da selezione meccanica	Frazione organica proveniente da grandi utenze	Frazione organica di provenienza domestica
B <sub>0</sub> , m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgTVS	0.16-0.37	0.45-0.49	0.37-0.40
G <sub>0</sub> *, m <sup>3</sup> /kgTVS	0.29-0.66	0.81-0.89	0.67-0.72

\*: G<sub>0</sub>= biogas prodotto a tempo infinito

Si notino i valori notevolmente inferiori della frazione organica selezionata meccanicamente rispetto agli altri substrati.