



REGIONE CAMPANIA

GIUNTA REGIONALE DELLA CAMPANIA

STRUTTURA DI MISSIONE PER LO SMALTIMENTO DEI RIFIUTI STOCCATI IN BALLE

IMPIANTO DI COMPOSTAGGIO DELLA FRAZIONE ORGANICA DA RACCOLTA DIFFERENZIATA DA REALIZZARE PRESSO IL COMUNE DI AFRAGOLA (NA) – LOC. SALICELLE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA – Ing. Antonio De Falco

ACCORDO QUADRO TRIENNALE PER L'AFFIDAMENTO DI SERVIZI DI INGEGNERIA
E ARCHITETTURA - LOTTO 1

POR FESR 2014-2020 - ASSE 6 - AZIONE 6.1.3. - PROC. N. 2597/A-SIA/18

CODICE CIG: 7332580C6D - CODICE CUP: B23G17013850006

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE TECNICA IMPIANTO

1137-D-0-RT-02	1137	1137-D-0-RT-02 0	1	DI	100	0
ELABORATO	COM	DOCUMENTO	PAGINE		REV.	

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO

CAPOGRUPPO MANDATARIA



ICARIA

ICARIA srl

SOCIETÀ DI INGEGNERIA

Via LA Spezia, 6 - 00132 Roma

Corso Cavour, n. 45 - 05818 Corneto (VT)

Tel. 0763-340875, fax. 0763-341232

www.icariasrl.it

e-mail: info@icariasrl.it

MANDANTE



ICARIA s.r.l.
Società di Ingegneria

Lotti Ingegneria Spa

Via del Fiume, n. 14 - 00186 - Roma

Tel. 06-32397322, fax. 0763-341251

C.F./P.IVA 00956841001

e-mail: lotti@lottiassociati.com

PEC: c.lotti@legalmail.it

MANDANTE



Quantica Ingegneria S.r.l.

Piazza G.Bovio n°22 - 80133 Napoli

Tel. 081-18779435, fax. 081-5628426

C.F. 08248051214 P.IVA 08248051214

e-mail: segreteria@quanticaingegneria.it

PEC: quantica@arubapec.it



0	MARZO 2021	EMISSIONE	PV	GV	GV	VR
REVISIONE	DATA	OGGETTO	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

INDICE

1. Premesse	1
2. Aspetti normativi	3
1.1 La normativa nazionale	4
1.2 La normativa vigente	6
3. Descrizione dell'intervento.....	8
4. Processo di compostaggio	15
4.1. Generalità	15
4.2. Eterogeneità delle biomasse compostabili.....	15
4.3. Definizioni	17
4.4. Il processo di compostaggio	19
4.4.1. I microrganismi	19
4.4.2. Cosa accade durante il compostaggio	20
4.5. Fasi del processo di compostaggio in progetto.....	21
4.6. Parametri che influenzano il processo di compostaggio	24
4.6.1. Concentrazione di ossigeno ed aerazione	24
4.6.2. Concentrazione e rapporto dei nutrienti	25
4.6.3. Umidità	27
4.6.4. Porosità, struttura, tessitura e dimensioni delle particelle.....	28
4.6.5. pH.....	29
4.6.6. Temperatura	29
4.6.7. Tempo	33
4.7. Trasformazione dei materiali sottoposti a compostaggio.....	34
4.7.1. Generalità sul compostaggio in bioreattore	35
4.7.2. Le biocelle.	35
4.7.3. La fase di finissaggio	36
6. Dati di progetto	37
7. Ciclo di trattamento.....	39
8. Dimensionamento.....	41

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

8.1.	Ricevimento e stoccaggio	41
8.2.	Miscelazione F.O.R.S.U. e scarti legnosi triturati	45
8.3.	Dimensionamento della fase di Compostaggio Attivo (ACT)	46
8.3.1.	Formula bruta della matrice compostabile.....	46
1.2.1	Composizione del compost prodotto	48
8.4.	Dimensionamento delle biocelle	51
8.5.	Cinetica del processo di compostaggio	54
8.5.1.	Determinazione dell'ordine di reazione nei processi di compostaggio.....	54
8.5.2.	Equilibrium mass	54
8.5.3.	Ordine di reazione nei processi di compostaggio	54
8.5.4.	Cinetica assunta per la progettazione	57
8.5.5.	Determinazione della portata d'aria necessaria al processo	58
8.5.6.	Determinazione della portata d'aria effettiva	64
8.6.	Sistema di controllo della fermentazione accelerata.....	66
8.7.	Dimensionamento della fase di maturazione	67
8.7.1.	Maturazione primaria	68
8.7.2.	Aerazione della maturazione primaria.....	70
8.7.3.	Maturazione secondaria.....	71
8.7.4.	Raffinazione del compost.....	72
9.	Bilancio di massa dell'impianto	75
9.1.	Produzione di rifiuti	78
10.	Elenco apparecchiature.....	79
10.1.	Trituratore	79
10.2.	Miscelatore	79
10.3.	Tramoggia di carico	80
10.4.	Separatore magnetico	83
10.5.	Vaglio vibrante.....	84
11.	Stoccaggio e ricircolo del percolato.....	87
12.	Presidi ambientali	89
1.3	Progetto e verifica dei sistemi di trattamento aria	91
1.3.1	Produzione ed impatto degli odori.....	91

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

1.3.2	Dimensionamento delle torri di lavaggio	92
1.3.3	Dimensionamento del biofiltro	96

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti ingegneria S.p.a.	

1. Premesse

La corretta intercettazione e il relativo trattamento della Frazione Organica rappresenta un elemento indispensabile per raggiungere gli obiettivi di legge in tema di raccolta differenziata come sancito dall'articolo 205 comma 1 lettera c) del d.lgs. 152/2006 che impone come obiettivo minimo quello del 65% sulla aliquota complessiva dei rifiuti prodotti. Tale necessità è stata ribadita anche dal D.P.C.M. 7 marzo 2016 in tema di “misure per la realizzazione di un sistema adeguato e integrato di gestione della frazione organica dei rifiuti urbani” che riporta una ricognizione dell'offerta esistente e l'individuazione del fabbisogno residuo di impianti anche per la Regione Campania.

Lo stesso Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti Urbani (PRGRU) adottato con D.G.R. n. 685 del 6 dicembre 2016 ha, tra gli obiettivi fondamentali, la realizzazione di impianti di recupero della frazione organica da raccolta differenziata necessari per garantire il fabbisogno di autosufficienza della Campania anche per conformarsi alla Sentenza della Corte di Giustizia Europea del 16.07.2015 che ha confermato la condanna nell'ambito del procedimento Commissione/Italia (C297/08, EU:C:2010:115) in merito alla gestione dei rifiuti. Il richiamato aggiornamento del PRGRU ha stimato, per l'intera Regione, un fabbisogno di trattamento della frazione organica pari a circa 750.000 t/a; tale valore è stato preso a riferimento per la programmazione degli impianti da realizzare. Dalla comparazione del fabbisogno con i dati relativi alla dotazione impiantistica disponibile e la produzione di frazione organica residuale è risultato che bisogna dotare la Regione Campania di ulteriore impiantistica per una potenzialità di poco superiore alle 550.000 t/a

La Regione Campania con DGR n. 123/2017 ha programmato, nell'ambito del settore prioritario “ambiente” una serie di interventi per la realizzazione di impianti per il trattamento della frazione organica da realizzare presso i comuni aderenti, per un importo complessivo di € 190.000.000,00 a valere sulle risorse FSC 2014/2020 assegnata nell'ambito del “ Patto per lo sviluppo della Regione Campania” - Intervento strategico “ impianti di trattamento della frazione organica, da raccolta differenziata dei rifiuti speciali e liquidi”.

Secondo tale programmazione ben circa 420.000 t/a dovranno essere trattate negli ATO costituenti la Provincia di Caserta in base al criterio di autosufficienza e prossimità ex direttiva n. 2008/98/CE. Tra gli interventi programmati vi è quello ricadente nel Comune di Afragola (NA) da realizzarsi ad opera del soggetto attuatore Comune di Afragola, sul terreno individuato per una spesa programmata pari ad € 15.800.000,00.

Il **Comune di Afragola**, in esito alla pubblicazione del 12 maggio u.s. da parte della Giunta Regionale della Campania - Struttura di Missione per lo smaltimento dei RSB dell'avviso rivolta alle Amministrazioni comunali a manifestare l'interesse alla localizzazione sul proprio territorio di impianti di valorizzazione della frazione organica, ha aderito con comunicazione prot. 377291 del 01/06/2016 alla stessa proponendo un impianto di compostaggio da 30.000 t/a incluso di strutturante.

Nonostante l'impianto sia a regia regionale, il Comune di Afragola ha siglato in data 27 marzo 2019 un accordo di programma approvato dalla Regione Campania con D.D. n. 7 del 27/03/2019 in base al quale sono state delegate alla Struttura di Missione le attività progettuali dell'impianto in parola; in base a tale accordo di programma con D.D. n. 5 del 21/05/2019 è stato nominato l'ing. Antonio De Falco, funzionario tecnico della Struttura di Missione, redattore del progetto di fattibilità tecnico-economica dell'impianto per il trattamento della frazione organica da raccolta differenziata.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 1 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

La progettazione definitiva ed esecutiva è stata affidata allo scrivente RTP, aggiudicatario del “lotto 1” della gara di “Accordo Quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria e architettura” esperita dalla medesima Struttura di Missione per lo smaltimento dei RSB.

La presente **Relazione Tecnica Impianto** illustra dunque gli aspetti tecnici di dettaglio, con particolare riferimento al ciclo di processo, alle apparecchiature selezionate ed ai bilanci di materia dell'impianto di compostaggio in progetto, in continuità con il Progetto di fattibilità tecnica ed economica predisposto dalla Regione Campania, ma con i necessari approfondimenti pertinenti al livello definitivo della progettazione svolta ed alle soluzioni tecnologiche definite in sede di progettazione definitiva.

Nello specifico, il progetto è finalizzato alla costruzione e all'esercizio di un impianto di compostaggio che avrà lo scopo di trattare **30.000 tonnellate annue** tra organico e verde, per recuperarle sotto forma di ammendante compostato da utilizzare in agricoltura.

L'impianto, a tecnologia aerobica, sarà in grado di trattare rifiuti, nello specifico FORSU (Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani), ossia rifiuti biodegradabili di cucine e mense (codice C.E.R. 20.01.08), per un quantitativo pari a 21.000 t/a e rifiuti provenienti dalla manutenzione del verde pubblico (codice C.E.R. 20.02.01), per un quantitativo pari a 9.000 t/a.

Ai sensi dell'allegato C alla Parte Quarta del D.Lgs. n. 152/2006, all'interno dell'impianto di Afragola, saranno svolte le seguenti attività:

- **R3 – Riciclo/recupero delle sostanze organiche** non utilizzate come solventi (comprese le trasformazioni biologiche);
- **R13 – Messa in riserva di rifiuti** per sottoporli a una delle operazioni indicate nei punti da R1 a R12 (escluso il deposito temporaneo, prima della raccolta, nel luogo in cui sono prodotti).

Propedeuticamente allo sviluppo della presente progettazione, è stata presentata l'Istanza per Verifica di assoggettabilità alla VIA, in quanto l'impianto rientra nella fattispecie di cui all'allegato IV alla parte seconda - *Progetti sottoposti alla verifica di assoggettabilità di competenza delle regioni e delle province autonome di Trento e Bolzano del D.Lgs n. 152/06, punto 7, lettera zb (impianti di smaltimento e recupero di rifiuti non pericolosi, con capacità complessiva superiore a 10 t/giorno, mediante operazioni di cui all'allegato C, lettere da R1 a R9 - della parte quarta del D. Lgs. 152/2006).*

Infine, da un punto di vista autorizzativo l'impianto è soggetto ad Autorizzazione Integrata Ambientale (A.I.A.).

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 2 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

2. Aspetti normativi

Tutte le strategie europee di norme emanate per la gestione dei rifiuti si sono sempre ispirate alla massima tutela ambientale, ed hanno mantenuto una gerarchia di priorità in quest'ordine:

- riduzione della produzione,
- riciclo (di materia),
- recupero (energetico) del rifiuto,
- riduzione dello smaltimento.

Nell'ambito della normativa comunitaria, manca uno specifico riferimento agli ammendanti organici e al compost, tuttavia la riduzione, il recupero ed il trattamento dei rifiuti biodegradabili, compaiono in più passaggi nelle norme di altri settori come: i rifiuti, le discariche, gli imballaggi, i fanghi, l'agricoltura biologica, il trattamento dei sottoprodotti di origine animale (regolamento CE 1774/2002 “norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale non destinati al consumo umano”) e la certificazione ECOLABEL (Marchio comunitario di qualità ecologica per gli ammendanti del suolo e dei substrati di coltivazione).

Il processo di compostaggio, ha acquistato notevole importanza alla luce della Direttiva Europea sulle discariche 99/31/CE, norma che prevede la limitazione del conferimento in discarica del rifiuto biodegradabile, con lo scopo di ridurre la produzione di biogas delle discariche (uno dei più elevati contributi alla componente di effetto serra dovuto ai rifiuti) e di migliorare le condizioni operative generali in discarica (es. diminuire l'aggressività chimica dei percolati, diminuire le modifiche nella forma dei siti dopo la chiusura).

La frazione biodegradabile conferita in discarica deve essere ridotta al 75% del rifiuto (riferito al 1995) entro 5 anni dal recepimento della Direttiva, al 50% entro 8 anni e al 35% entro il quindicesimo anno.

Questa direttiva, fissa pertanto i criteri di ammissibilità dei rifiuti biodegradabili in discarica e di conseguenza sollecita gli stati membri a promuovere iniziative finalizzate alla riduzione del conferimento di rifiuti in discarica, puntando su riciclo, trattamento biologico e recupero materiali ed energia (Laraia, 2001).

La Direttiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 05 aprile 2006, relativa ai rifiuti, ha lo scopo di provvedere ad un riordino complessivo dei principi di gestione dei rifiuti in ambito comunitario. Con l'art. 20 della stessa, è stata abrogata la direttiva 75/442/CEE del Consiglio del 15 luglio 1975, uno degli assi portanti dell'azione legislativa della Commissione Europea nel settore dei rifiuti.

La COMMISSIONE DELLE COMUNITA' EUROPEE in Bruxelles 22.09.2006 con Com (2006) n. 231, ha emanato la Comunicazione della Commissione al Consiglio al Parlamento Europeo, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni “Strategia tematica per la protezione del suolo”. Considerata l'importanza del suolo e la necessità di evitarne l'ulteriore degrado e conseguente desertificazione, scopo della “strategia”, è quello da parte degli stati membri di promuovere programmi e azioni concernenti misure contro la diminuzione di materia organica del suolo, tenuto conto che non tutti i tipi di materia organica sono in grado di risolvere il problema. Gli ammendanti organici del suolo come il letame e il compost, e in misura minore, i fanghi di depurazione e i liquami animali, contengono materia organica stabile ed è proprio per questa

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 3 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

frazione stabile che contribuisce a costituire l'humus, che a sua volta migliorano le caratteristiche del suolo.

La COMMISSIONE DELLE COMUNITA' EUROPEE in Bruxelles 22.09.2006 con Com (2006) n. 232 proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio istituisce un quadro per la protezione del suolo e propone la modifica la direttiva 2004/35/CE. Finalità della direttiva, è la difesa del suolo sulla base dei principi della conservazione delle funzioni del suolo stesso, della prevenzione del suo degrado, della mitigazione degli effetti di tale degrado, del ripristino dei suoli degradati, dell'integrazione di queste considerazioni in altre politiche settoriali con l'istituzione di un quadro di interventi comuni fra tutti gli stati membri.

La Decisione 2001/331/CE Raccomandazione del Parlamento Europeo e del Consiglio del 04 aprile 2001, stabilisce i criteri minimi per le ispezioni ambientali negli stati membri. Scopo della decisione, è quello di assicurare l'uniformità dell'applicazione pratica e del rispetto della normativa ambientale. L'importanza della formazione degli ispettori ambientali, affinché lo scopo delle ispezioni sia quello di conseguire un elevato livello di protezione ambientale. Assicurare che le ispezioni siano organizzate ed eseguite in conformità alla raccomandazione stessa, in particolare ai punti IV e VIII.

Norma UNI EN ISO 19011 febbraio 2003 "linee guida per gli audit dei sistemi di gestione per la qualità e/o di gestione ambientale". La norma fornisce linee guida sui principi dell'attività di audit, sulla gestione dei programmi di audit, sulla conduzione dell'audit del sistema di gestione per la qualità e del sistema di gestione ambientale come pure sulla competenza degli auditor di tali sistemi di gestione.

1.1 La normativa nazionale

I primi riferimenti normativi nazionali concernenti le attività di recupero dei rifiuti, sono presenti dapprima nel D.P.R. 915/82, all'articolo 4, commi c e d, in cui si menzionano le problematiche della produzione di rifiuti, la necessità di determinare misure dirette a limitarne la formazione, di "definire le tecniche generali relative ai sistemi di smaltimento che ne favoriscano il riciclaggio", di determinare i limiti di accettabilità (caratteristiche chimico-fisiche, microbiologiche) per i rifiuti e per i prodotti risultanti dal loro trattamento o dalla loro trasformazione. Si è cercato poi di perseguire questi obiettivi con le disposizioni contenute nella Deliberazione del 27-07-1984, ove s'introdusse il concetto di uno smaltimento del rifiuto, controllato e regolato da limiti di accettabilità ai fini del contenimento dell'impatto ambientale derivante da quest'attività. Nel corso degli anni Ottanta, si inserì l'attività di recupero basata sulla tecnica del compostaggio, il cui processo, prevedendo il trattamento del rifiuto indifferenziato, produceva un compost con notevole presenza di materiale inerte limitandone la fiducia nell'utilizzatore.

Contestualmente, il compost è stato disciplinato anche dalla Legge 748 del 19 febbraio 1984 concernente "Nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti", la quale suddivide i fertilizzanti in:

- Concimi, intesi come "qualsiasi sostanza, naturale o sintetica, minerale od organica idonea a fornire alle colture l'elemento o gli elementi chimici principali della fertilità a queste necessarie per lo svolgimento del loro ciclo vegetativo e produttivo, secondo le forme e le solubilità prescritte dalla legge stessa".
- Ammendanti e correttivi, intesi come "qualsiasi sostanza naturale o sintetica, minerale od organica, capace di modificare e migliorare le proprietà e le caratteristiche chimiche, fisiche, biologiche e meccaniche di un terreno", suddivisi a loro volta in:

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 4 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

- Ammendante da residui urbani (composti maturi), definito come “Prodotto ottenuto per fermentazione aerobica con riscaldamento naturale ad una temperatura non inferiore a 60 °C di Rifiuti Solidi Urbani (RSU), preceduto o seguito da operazioni meccaniche quali cernita, macinazione, dilacerazione, deferratura, setacciatura, ecc.”.
- Torba acida.

Quindi dalla seconda metà degli anni Ottanta, l'attività del compostaggio è stata regolamentata contestualmente da due norme, una ambientale che poneva dei limiti sul contenuto di metalli pesanti nel prodotto finito, l'altra agronomica in cui poteva essere inserito il compost, ma che non prevedeva limiti, ciò ha contribuito a generare uno stato di confusione nel settore.

Il successivo D. Lgs. 27 gennaio 1992, n. 99, avente lo scopo di disciplinare l'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura per evitare effetti nocivi sul suolo, sulla vegetazione, sugli animali e sull'uomo, ammetteva anche il compostaggio come trattamento di stabilizzazione preventivo allo spargimento in agricoltura dei fanghi.

In questa situazione normativa alquanto confusa, la gestione dei rifiuti, e di conseguenza anche il settore del compostaggio, necessitava di una normativa più organica e ordinata. Il D. Lgs. 389/97 di aggiornamento, ha abrogato di fatto, il D.P.R. 915/82.

In Italia la prima vera azione volta ad attuare le Direttive Europee in tema di riduzione e di gestione dei rifiuti, si è concretizzata con il Decreto Legislativo del 5 febbraio 1997, n. 22, che ha recepito le direttive comunitarie CEE 91/156 e CE 94/62, in materia di rifiuti e rifiuti da imballaggio, nonché Direttiva CEE 91/689, sui rifiuti pericolosi.

Il principio fondamentale cui si è ispirato il Decreto Legislativo del 5 febbraio 1997 n. 22, è stato nel considerare la discarica come il luogo ultimo di smaltimento dei rifiuti residui dell'attività di riciclaggio e recupero energetico. Ha inoltre definito il compost come il “prodotto ottenuto dal compostaggio della frazione organica dei rifiuti urbani nel rispetto di apposite norme tecniche finalizzate a definirne contenuti e usi compatibili con la tutela ambientale e sanitaria e in particolare a definirne i gradi di qualità”.

Il compostaggio, è stato quindi classificato tra le operazioni di recupero (Allegato “C” punto R3 – Riciclo/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi (comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche), ed è stato inserito nel D.M. del 5 febbraio 1998 (paragrafo 16), recante norme sull' “Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22”, tra le attività di recupero di rifiuti non pericolosi soggette a procedura semplificata.

Sono stati quindi individuati:

- La tipologia dei rifiuti compostabili per la produzione di compost di qualità.
- Le caratteristiche del rifiuto da compostare.
- La definizione del processo del compostaggio come attività di recupero che, se condotta conformemente alle norme citate, può essere autorizzata previa semplice comunicazione agli organi competenti.
- Le caratteristiche delle materie prime e dei prodotti ottenuti.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 5 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Quasi contemporaneamente sono state apportate delle modifiche alla legge 748/84 sui fertilizzanti, con il D.M. 27 marzo 1998 “Modificazione allegato 1C della L. 19 ottobre 1984, recante nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti” ed è stata esclusa dall'allegato la possibilità di ottenere compost da rifiuto indifferenziato, mentre sono state introdotte le seguenti tre classi di ammendante proveniente da processi di compostaggio di matrici selezionate:

- **Ammendante compostato verde ACV:** prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllata di residui organici costituiti da scarti della manutenzione del verde ornamentale, residui delle colture, altri scarti di origine vegetale, con esclusione di alghe e altre piante marine.
- **Ammendante compostato misto ACM:** prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllata di residui organici costituiti dalla frazione organica degli RSU, proveniente da raccolta differenziata, da scarti di origine animale compresi i liquami zootecnici, da residui di attività agroindustriali e da lavorazione del legno e del tessile non trattati, da residui analoghi, nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato verde.
- **Ammendante torboso composto:** prodotto ottenuto da miscela di torba con ammendante compostato verde e/o misto.

La normativa nazionale ha quindi cercato di definire l'attività di recupero ponendo attenzione soprattutto sulle caratteristiche del prodotto finito e dei materiali di partenza, ma ha tralasciato gli aspetti organizzativi e gestionali, con i rischi ambientali annessi, che tale attività può comportare.

Le amministrazioni regionali hanno cercato di colmare questa lacuna e, con una serie di provvedimenti regionali, hanno regolato l'attività del compostaggio.

1.2 La normativa vigente

L'anno 2006 è stato denso di novità normative nel contesto ambientale, infatti le due norme quadro in campo ambientale ossia il D. Lgs 22/97 e la Legge 748/84 che regolamentava i fertilizzanti, sono state abrogate e sostituite rispettivamente dal D. Lgs n. 152 del 03 aprile 2006 e dal D. Lgs n. 217 del 29 aprile 2006.

Inoltre, la disciplina che consentiva l'attività di recupero in regime di comunicazione (artt. 31 e 33 del D. Lgs 22/97), o recupero agevolato dei rifiuti non pericolosi, è stata modificata in modo sostanziale dal Decreto Ministero dell'Ambiente n. 186 del 05 aprile 2006. Seppure emanato in attuazione del D. Lgs. 22/97 successivamente abrogato dal D-Lgs. 152/06, il DM 05 febbraio 1998, continua a svolgere la sua efficacia fino all'emanazione delle nuove norme regolamentali attuative del citato 152/06 (cfr. artt. 183 e 241 dello stesso D.lgs. 152/06).

Il nuovo DM 186/2006 sul recupero dei rifiuti non pericolosi in regime di comunicazione agevolata, tra l'altro apporta anche modifiche ad alcuni articoli del DM 05 febbraio 1998 tra cui:

- Art. 6 riformulando completamente e stabilendo quantità massime di rifiuti ammesse alla messa in riserva,
- Art. 7 le quantità massime di rifiuti non pericolosi impiegabili nelle operazioni di recupero sono ora quelle stabilite per ogni singola categoria industriale (di produzione o di recupero) a un nuovo allegato (allegato 4) che per gli impianti di compostaggio riporta il quantitativo limite di trattamento annuo.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 6 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Il Decreto Legislativo n. 152 del 03 aprile 2006, aggiornato dal D.lgs. n. 4 del 16 gennaio 2008, rappresenta un primo tentativo, di corpus iuris in materia ambientale, dopo anni di legislazione caratterizzata da una vasta gamma di provvedimenti normativi non sempre coordinati e omogenei. Il decreto, non ambisce a definire disposizioni di principio applicabili trasversalmente a tutti i settori oggetto della tutela ambientale, ma delinea unicamente quelli richiesti dalla legge delega che ne costituiscono i titoli in cui lo stesso decreto è suddiviso. (M. Centemero, 2006).

Il D.lgs. 217/06, è la norma che regola la commercializzazione dei fertilizzanti e presenta le seguenti e principali novità:

1. accorpamento di alcune categorie di fertilizzanti (ora ci sono 144 tipi di fertilizzanti),
2. individuazione di nuovi adempimenti per i produttori (quattro tipi di registri),
3. inasprimento delle sanzioni per gli inadempimenti.

Il decreto tra l'altro all'art. 8, estende il concetto di tracciabilità anche ai fertilizzanti; al fine di garantire la massima trasparenza sui prodotti, vengono istituiti presso la Direzione Generale per la qualità dei prodotti agroalimentari del Ministero per le Politiche Agricole e Forestali (MIPAF), il registro dei fertilizzanti, (allegato 13), che contiene una sezione specifica per i fertilizzanti consentiti in agricoltura biologica, ed il registro dei fabbricanti di fertilizzanti (allegato 14). Inoltre, il fabbricante, per garantire la tracciabilità dei fertilizzanti, oltre a conservare la registrazione sull'origine dei concimi, deve metterla a disposizione degli Stati membri per fini ispettivi finché il concime è immesso sul mercato, e per altri due anni dopo che il fabbricante ne ha cessato l'immissione sul mercato.

La circolare del MIPAF del 04 agosto 2006 avente ad oggetto: “chiarimenti sull'applicazione del D. Lgs. 217/06 concernente la revisione della disciplina in materia di fertilizzanti”, introduce il Registro sull'origine dei fertilizzanti di cui i produttori dovranno dotarsi, vidimato dall'Ufficio periferico dell'Ispettorato Centrale della Repressione Frodi competente per territorio, nel quale devono essere riportate le informazioni indispensabili per assicurare la rintracciabilità delle materie prime impiegate e dei prodotti finali.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 7 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

3. Descrizione dell'intervento

L'intervento consisterà nella realizzazione di un impianto di compostaggio che avrà la funzione di recuperare la frazione organica dei rifiuti solidi urbani proveniente da raccolta differenziata a servizio di un bacino di utenza di circa 120.000 abitanti attraverso un processo di degradazione aerobica finalizzata alla produzione di compost di qualità.

Il lotto individuato dal Comune di Afragola per la realizzazione impiantistica (foglio catastale n. 1 particelle 3-11-13-112-86) ha un'estensione complessiva di circa 34.000 mq. Tale lotto, di forma trapezoidale, è ubicato lungo via Scotta e Via de Chirico ai confini con il comune di Caivano ed in adiacenza all'ex sito di stoccaggio.

I terreni di cui all'area oggetto di intervento di coordinate del centroide latitudine 40°56'39.48"N e longitudine 14°19'18.76"E si trovano a oltre 500 metri dai primi nuclei abitati.

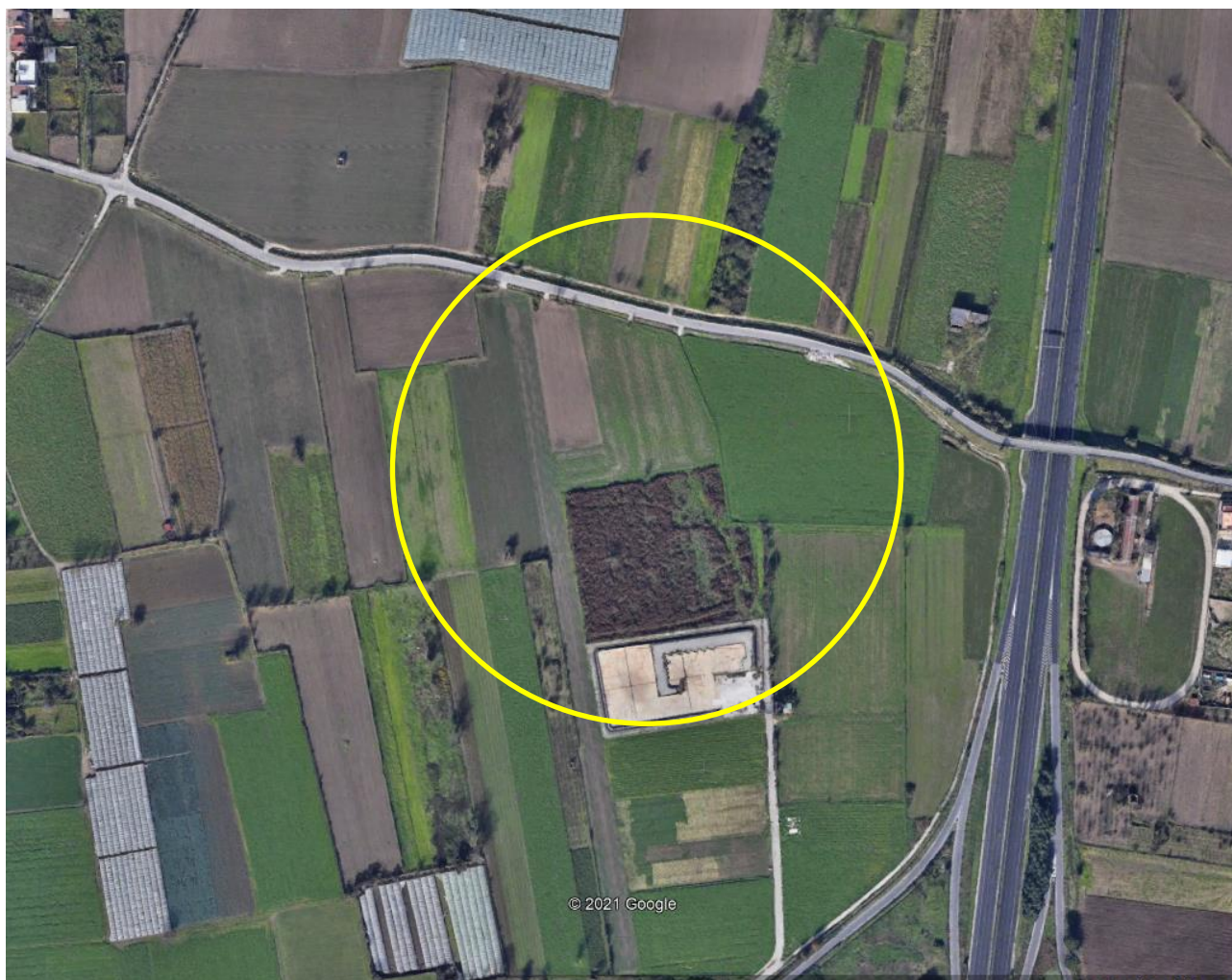


Figura 1 Inquadramento territoriale dell'area di intervento

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 8 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

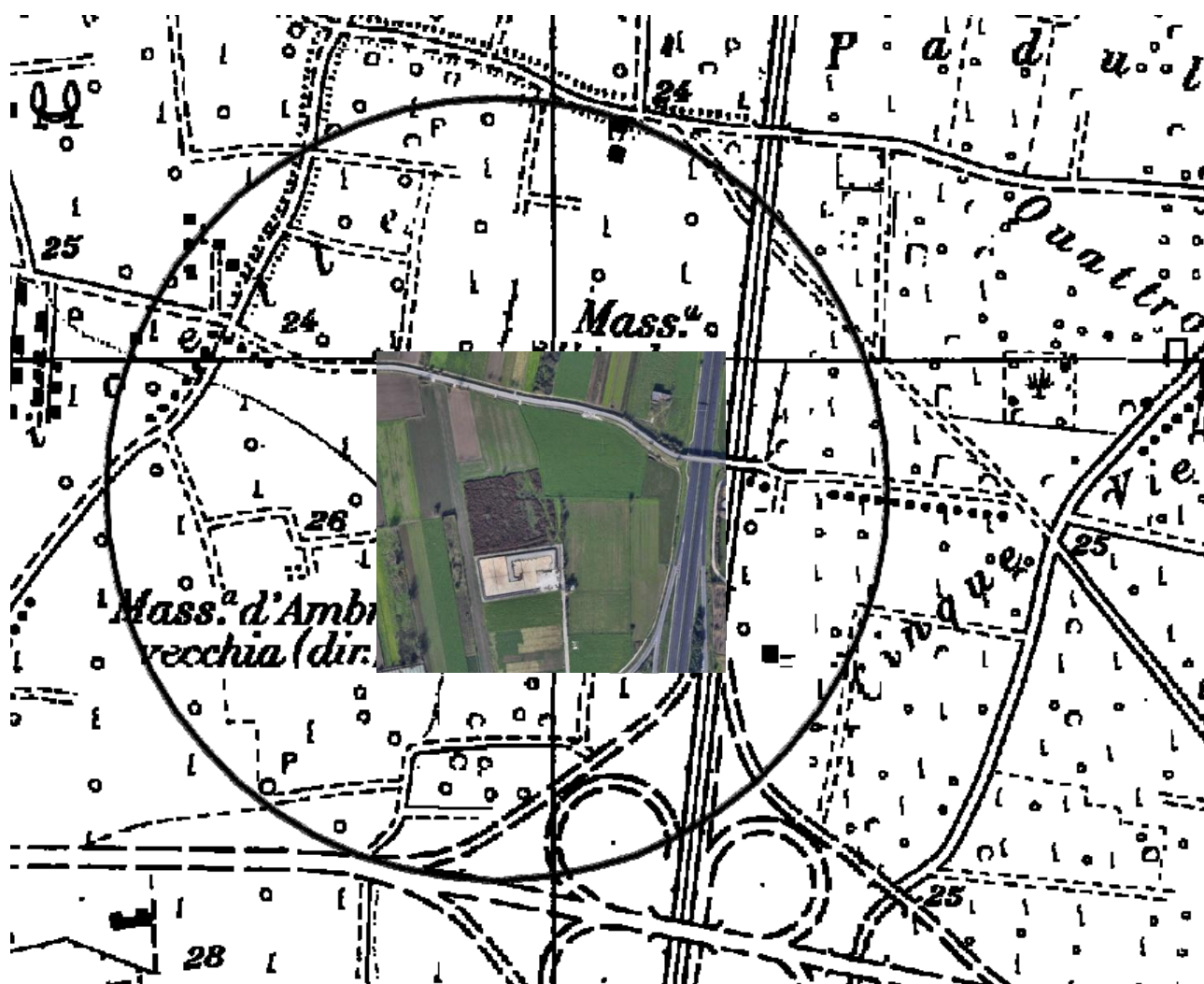


Figura 2 Sovrapposizione stralcio ortofoto con CTR dell'area di intervento

Il nuovo impianto è ricompreso all'interno della recinzione esistente e prevede la demolizione delle attuali piazzole per lo stoccaggio delle balle e di tutti i manufatti connessi quali serbatoi stoccaggio percolato, reti tecnologiche e accessori ad uso uffici e servizi.

È prevista l'esecuzione di indagini geognostiche per definire nel dettaglio le caratteristiche geologiche del sito e l'esecuzione di indagini ambientali per valutare il riutilizzo dei materiali di risulta dalla demolizione delle piazzole ed altri manufatti accessori.

Il layout di progetto dell'impianto, prevede la realizzazione:

- di un capannone principale di tipo prefabbricato in c.a.p con fondazioni su pali e con sviluppo a pianta rettangolare, all'interno della quale si svilupperanno tutte le attività di processo;
- di un edificio rettangolare di tipo prefabbricato in c.a.p con fondazioni su pali ad un piano adibito ad uso uffici e servizi per gli addetti;

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 9 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

- delle strutture impiantistiche per il trattamento delle acque reflue e dell'aria esausta (biofiltri e scrubber);
- dell'area tecnologica (riserva idrica e locale tecnico antincendio, serbatoio gasolio, cabina elettrica);
- della viabilità di servizio e parcheggi.

Per quanto previsto in fase progettuale saranno conferiti nell'area le seguenti tipologie di rifiuti:

- rifiuti provenienti dalla manutenzione del verde pubblico (CER 20.02.01);
- rifiuti biodegradabili di cucine e mense (CER 20.01.08).

L'impianto avrà una capacità complessiva annua di 30.000 tonnellate di rifiuti in ingresso suddivise in 21.000 t/a di FORSU e 9.000 t/a di verde strutturante.

All'interno del capannone principale è prevista un'area di conferimento per il rifiuto verde strutturante e per il rifiuto organico; il verde strutturante viene successivamente tritato e accumulato in apposita area, mentre la frazione organica viene scaricata in apposita area attrezzata con caditoie per la raccolta dei colaticci. Successivamente la frazione organica viene premiscelata con il verde tritato e con pala meccanica depositata temporaneamente in apposito spazio confinato; successivamente il materiale premiscelato viene caricato sempre con pala meccanica nel miscelatore a coclea, che svolge anche la funzione di aprisacchi e scaricata con nastro in apposita zona di stoccaggio.

Inizia ora la fase di compostaggio attiva (ACT) con il caricamento del materiale premiscelato all'interno di n. 5 biotunnel chiusi in c.a. delle dimensioni interne di circa 6,50 m x 30 m cadauno (con relativo sistema di raccolta e ricircolo del percolato) per una durata del processo di circa 18 giorni.

A fine maturazione primaria, il materiale è trasportato con pala meccanica alla zona di maturazione secondaria con periodico rivoltamento dei cumuli.

Successivamente, il materiale viene trasportato con pala meccanica alla linea di raffinazione composta da un deferizzatore e da un vaglio a doppio stadio (con fori del I stadio da 10 mm e fori del II stadio da 60 mm).

Il materiale in uscita dal vaglio di raffinazione viene infine inviato alla zona di deposito del compost di qualità.

Dalla vagliatura si ottengono inoltre due ulteriori flussi: il cosiddetto strutturante da ricircolo, che viene riportato a mezzo pala meccanica nella zona di stoccaggio dello strutturante ed un sovrappiù di materiale di scarto, composto essenzialmente da plastiche raccolto all'interno di container.

Il compost raffinato è pronto per l'invio presso impianti specializzati per l'imballaggio.

La tempistica prevista per l'intero ciclo di biostabilizzazione del compost è di almeno **90 giorni** così ripartiti:

- **18 giorni** effettivi per la fase di compostaggio attiva;
- **37 giorni** effettivi per la maturazione primaria su platea areata ;
- **35 giorni** effettivi per la maturazione secondaria all'interno del capannone.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 10 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

È prevista la realizzazione della rete idrica potabile, dell'impianto antincendio, dell'impianto elettrico/illuminazione e messa a terra e di quello per il trattamento delle emissioni odorigene in atmosfera.

In particolare, l'impianto di smaltimento delle acque bianche e delle acque nere si compone di 3 reti separate che raccolgono i flussi, distinti come di seguito elencato:

- acque nere derivanti dagli scarichi dei servizi ad uso civile e dal lavaggio degli automezzi;
- acque meteoriche di dilavamento delle superfici di copertura, del piazzale e della viabilità;
- acque di processo (percolati).

Particolare attenzione è stata data alla progettazione delle reti di smaltimento delle acque reflue nere e delle acque meteoriche provenienti dalle coperture, dalle superfici pavimentate della viabilità e dai piazzali; queste sono schematicamente rappresentate nella seguente figura.

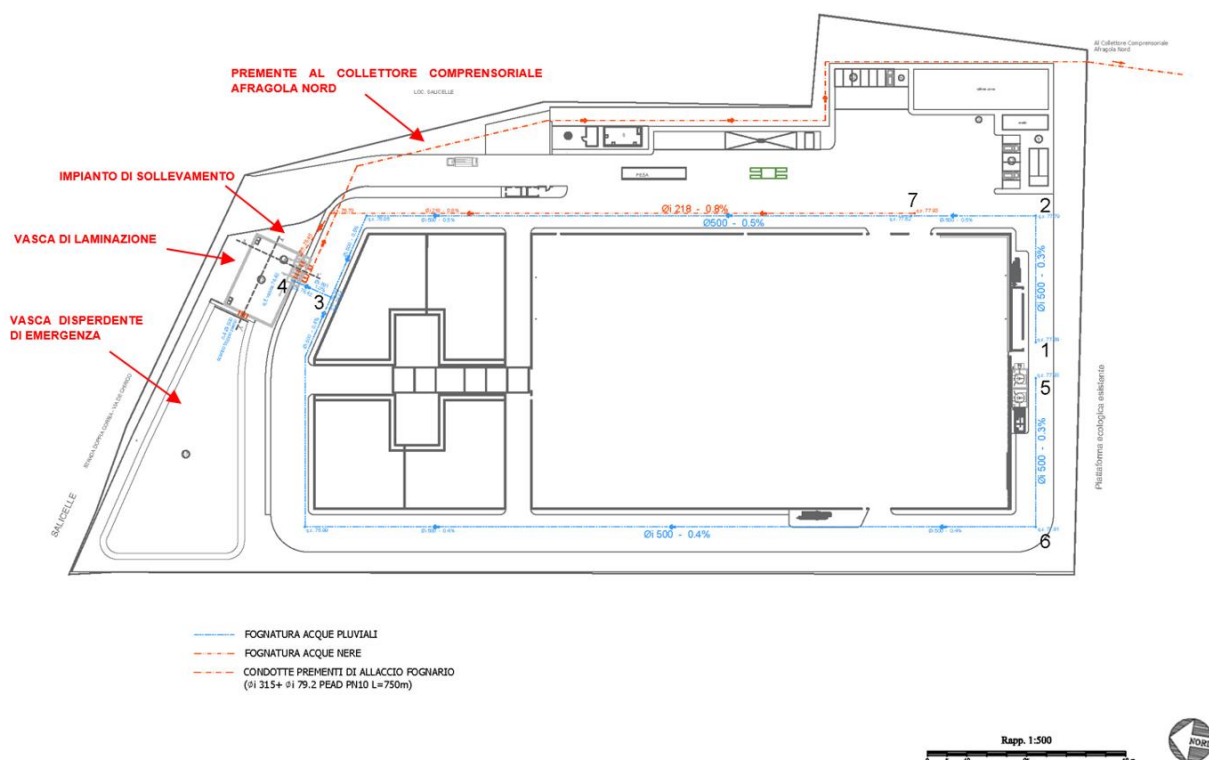


Figura 3 Planimetria rete fognaria

L'ossatura principale della **rete di smaltimento delle acque meteoriche** è costituita da due rami che, partendo dai relativi capi fogna ubicati sul lato Sud del capannone, si sviluppano rispettivamente sul lato Est e sul lato Ovest dello stesso fabbricato, con diametro Øe 580 (Øi 500) in Pead corrugato, per poi ricongiungersi in un'unica tubazione in Pead corrugato Øe 800 (Øi 691) sul lato Nord. La

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 11 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti ingegneria S.p.a.	

condotta sul lato Est raccoglie anche le acque provenienti dalla copertura dell'edificio servizi e del relativo piazzale.

Il "ramo Est" (tributario delle acque provenienti dal 50% della copertura del capannone e dai piazzali sul lato Est dell'area d'impianto), è costituito dunque dai seguenti tratti:

- Un tratto (1-2 in figura) lungo il lato sud del capannone, di sviluppo pari a ca. 35m, costituito da una tubazione Øi500 in Pead corrugato e con pendenza i 0.3%;
- Un tratto (2-3 in figura), che si sviluppa lungo il lato Est e Nord del capannone fino al ricongiungimento con il ramo Ovest, di sviluppo pari a ca. 215m, costituito da una tubazione Øi500 in Pead corrugato e con pendenza i 0.5%.

Il "ramo Ovest" (di sviluppo maggiore rispetto al precedente e tributario delle acque provenienti dal restante 50% della copertura del capannone e dai piazzali sul lato Ovest dell'area d'impianto), è costituito invece dai seguenti tratti:

- Un tratto (5-6 in figura), lungo il lato sud del capannone, di sviluppo pari a ca. 40m, costituito da una tubazione Øi 500 in Pead corrugato e con pendenza i 0.3%;
- Un tratto (6-3 in figura), che si sviluppa lungo il lato Ovest e Nord del capannone fino al ricongiungimento con il ramo Est, di sviluppo pari a ca. 270m, costituito da una tubazione Øi 500 in Pead corrugato e con pendenza i 0.4%.

Il tratto terminale della rete (3-4 in figura), costituito da una condotta Øe 800 (Øi 691) in Pead corrugato, di sviluppo pari a ca. 12m e pendenza i 1%, recapita le acque di pioggia in una vasca di laminazione, con dimensioni in pianta pari a 21.2m x 14.2m, per un volume utile di accumulo pari a ca. 600 mc, cui è affiancato una vasca disperdente da attivarsi in caso di emergenza, costituita da un'area a verde depressa, nella quale sfiora a mezzo di uno scarico di troppo pieno costituito da n. 4 condotte Øi 500. Le acque di pioggia in uscita dalla vasca di laminazione sono convogliate nel recapito finale, costituito dal Collettore Comprensoriale Afragola Nord, mediante un impianto di sollevamento, costituito da n.3 elettropompe (2 + 1 di riserva: Q=183 mc/h – 51 l/s) e la relativa condotta premente in Pead liscio di diametro Øe315 (Øi 277.6) e sviluppo pari a ca. 750m.

La condotta premente delle acque meteoriche è stata dimensionata in modo da ottimizzare il volume della vasca di laminazione, tenendo però in conto la capacità ricettiva del collettore in cui scarica. Per il dimensionamento della condotta è stata considerata una portata di progetto pari a 100 l/s.

Il collettore Afragola Nord, nel tratto di interesse, presenta sezione 2.00m x 1.80m. Un collettore di simili dimensioni, ipotizzando un grado di riempimento pari al 70% e una velocità non minore di 1 m/s, convoglia una portata pari a ca. 2.5 mc/s. La portata di 100 l/s scaricata dalla condotta premente in progetto è dunque ampiamente compatibile con il collettore ricettore, incrementandone la portata soltanto del 4%.

La premente sarà costituita, come si è detto, da una condotta Øe315 (Øi 277.6) in Pead liscio PN10, che determina una velocità pari a ca. 1.5 m/s. Per tale condotta, è prevista la posa al di sotto della piattaforma stradale di Via De Chirico, per uno sviluppo complessivo pari a ca. 750m, fino al recapito nel collettore Afragola Nord, che avverrà in un'area privata, immediatamente a valle del tratto in cui Via De Chirico sottopassa l'Asse Mediano.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 12 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	



Figura 4 Tracciato della condotta premente dall’impianto al Collettore Afragola Nord su rilievo topografico e su base Google Earth

La vasca di laminazione è stata dimensionata assumendo una portata costante in uscita di 100 l/s.

L’ossatura principale della **rete delle acque nere** (7-4 nella precedente figura) è costituita da una condotta Øe 250 (Øi 218) in Pead corrugato, con pendenza i 0.8%, che si sviluppa parallelamente alla condotta pluviale sul lato Est del capannone. Tale condotta raccoglie le acque di lavaggio degli automezzi, oltre alle acque reflue dell’edificio servizi.

Il volume giornaliero da smaltire è stato valutato in 8.48 mc/g e la portata oraria (su 12 ore) pari a 0.71 mc/h (vedi Relazione idrologica e idraulica – 1137-D-0-RT-05).

Il diametro della condotta è decisamente esuberante rispetto alle portate da convogliare. La scelta di tale diametro discende dalle esigenze di manutenzione (Øi min = 200).

La condotta fognaria recapita in un pozzetto di dimensioni in pianta 3m x 1.5m, ricavato all’interno della vasca di laminazione ma confinato, dal quale le acque sono sollevate da n.2 elettropompe (1+1 di riserva: Q=16.9 mc/h – 4.7 l/s) ed inviate al collettore comprensoriale Afragola Nord per mezzo di una condotta premente in Pead liscio PN10 di diametro Øe 90 (Øi 79.2), con sviluppo parallelo a quello della premente delle acque bianche. Il pozzetto è stato dimensionato in modo da contenere il tempo di detenzione delle acque reflue, minimizzando la possibilità di sedimentazione e di fermentazione al suo interno.

Data l’esiguità delle portate nere prodotte dall’impianto, la scelta del diametro della condotta premente non è stata dettata tanto da esigenze idrauliche, quanto dalla necessità di scongiurare fenomeni di ostruzione della condotta. Analogamente, la portata sollevata dalle elettropompe è stata dettata dall’esigenza di avere nella condotta di mandata velocità minime non inferiori a 0.9 m/s.

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Si prevede altresì la realizzazione di:

- piazzale idoneo al transito di mezzi pesanti e di un'area sistemata a verde sul confine dell'area di intervento (con la piantumazione di alberi ad alto fusto e siepi);
- rete di allacciamento per l'adduzione idrico-potabile e dell'energia elettrica;
- impianto di illuminazione interna ed esterna di tutto l'impianto;
- interventi per la recinzione dell'impianto;
- una palazzina in c.a. per uffici e servizi agli addetti;
- una piattaforma per la pesa dei mezzi pesanti;
- una cabina elettrica prefabbricata MT/BT da 630kW;
- una vasca interrata in c.a. ad uso antincendio di circa 250 mc con annesso locale tecnico per alloggiamento gruppo pompe antincendio.

Nonché delle seguenti attrezzature tecnologiche per la riduzione degli impatti ambientali: biofiltri, scrubber e filtri a maniche.

In particolare, la sezione di lavaggio aria e quella di biofiltrazione sono state dimensionate per trattare una portata d'aria complessiva pari a ca. 360.000 m³/h.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 14 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

4. Processo di compostaggio

4.1. Generalità

Il compostaggio è un processo aerobico di decomposizione biologica della sostanza organica che avviene in condizioni controllate e che permette di ottenere un prodotto biologicamente stabile in cui la componente organica presenta un elevato grado di evoluzione.

In genere, il processo di compostaggio viene suddiviso in una fase attiva (nota come ACT acronimo di Active Composting Time), caratterizzata da intensi processi di degradazione delle componenti organiche più facilmente degradabili e da una fase di cura (nota come curing phase) caratterizzata da processi di trasformazione della sostanza organica la cui massima espressione è la formazione di sostanze umiche.

Gli attori principali del compostaggio sono i microrganismi, generalmente presenti in misura sufficiente negli scarti e nell'ambiente circostante, che vanno messi tuttavia nelle condizioni ideali per trasformare le componenti organiche e contestualmente riprodursi, accelerando così i processi.

I fattori principali che influenzano le capacità microbiche di trasformazione sono essenzialmente:

- l'ossigeno ed una adeguata porosità del materiale sufficiente a garantire un rifornimento dello stesso, a fronte di quello via via consumato; in assenza di ossigeno, infatti, le trasformazioni ossidative, che garantiscono la stabilizzazione del materiale, si arresterebbero ed insorgerebbero invece processi putrefattivi e maleodoranti;
- L'umidità, che deve essere sufficiente all'attività microbica, ma non eccessiva, in quanto occupando gli spazi vuoti ostacolerebbe il rifornimento di ossigeno;
- Il rapporto tra carbonio ed azoto (C/N): l'azoto, infatti, deve essere contenuto nei residui organici in quantità sufficiente a garantire la riproduzione e lo sviluppo dei microrganismi; il che consente a sua volta l'accelerazione del processo e l'innalzamento della temperatura come effetto immediato; l'azoto non deve essere presente in quantità eccessiva rispetto ai materiali carboniosi da trasformare, in quanto eccedendo le necessità microbiche verrebbe liberato essenzialmente come ammoniaca, con perdita di valore fertilizzante ed odori sgradevoli.

4.2. Eterogeneità delle biomasse compostabili.

Dal punto di vista chimico e fisico le biomasse potenzialmente compostabili presentano un elevato grado di eterogeneità sia in termini fisici che chimici.

Tale fatto determina la necessità di rendere omogenea la miscela iniziale sottoposta al compostaggio al fine di orientare il processo verso condizioni di aerobiosi sufficienti per

- sostenere il processo aerobico,
- mantenere il contenuto idrico idoneo alla vita microbica
- mantenere il rapporto C/N il più possibile vicino alle condizioni ideali.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 15 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Tabella 1. Valori ottimale da conferire alla miscela in compostaggio

Parametro	C/N	Umidità %	pH logH+	Densità kg/m ³
Valori idonei	20-40	40-65	5.5-9	<650
Valori consigliati	25-30	50-60	6.5-8.5	<650

Quanto specificato lascia intuire alcune necessità: anzitutto, allo scopo di garantire un'adeguata porosità al cumulo, sarà necessaria la presenza nello stesso di materiale lignocellulosico "di struttura" o "bulking".

Per garantire il giusto rapporto C/N e l'umidità ideale bisogna prevedere la miscelazione di opportuni materiali "umidi" (che generalmente hanno anche un elevato contenuto di azoto) e "secchi" (generalmente ad alto C/N).

In particolare, la presenza di percentuali di biomasse di tipo cellulosico consente l'adozione di sistemi processistici semi-intensivi (cumuli alti, bassa frequenza dei rivoltamenti, diffusione spontanea dell'ossigeno) sino all'estensione spinta dei processi di compostaggio che trattano solo residui della manutenzione del verde ornamentale.

Pertanto, un'operazione preliminare di estrema importanza risulta essere la conoscenza approfondita delle matrici compostabili; ciò con il duplice obiettivo di allestire una miscela iniziale idonea per orientare la qualità del compost.

Nella 0 sono elencati e caratterizzati analiticamente alcuni dei materiali compostabili che più frequentemente entrano a far parte della miscela iniziale.

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1										PROGETTO DEFINITIVO				
Icaria S.r.l.			Quantica ingegneria S.r.l.				Lotti ingegneria S.p.a.							

Tabella 2. Caratteristiche analitiche dei materiali più frequentemente utilizzati per il compostaggio

Matrice compostabile	H ₂ O % s.t.q	PH	Solidi Volatili % SS	Carbonio Organico % SS	N % SS	C/N	P % SS	K % SS	Zn ppm	Cu ppm	Ni ppm	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
Scarti carboniosi (C/N>40)														
Corteccia di pioppo	39,5	7,23	93,5	53,1	0,72	74	0,1	0,52	149,1	20,9	19,8	15,6	1,7	15,5
Cortecce di abete	35,6	3,8	95,2	52,9	0,41	130	0,05	0,1	-	12	-	-	-	-
Cortecce di pino	36	4	96,1	54,5	0,31	175	0,05	0,1	-	9	-	-	-	-
Segatura di pioppo	38,1	5,4	98,6	52,1	0,35	148	0,03	0,15	-	-	-	-	-	-
Scarti verdi (invernale)	31,5	5,4	91,8	44,1	0,3	147	0,08	0,43	115	65,2	17,8	18,4	<0,5	16,3
C/N 20-40														
Scarti azotati<20	65,7	6,4	90	20,6	0,95	216	0,57	0,33	-	-	-	-	-	-
Scarti verdi (estivo)	46,5	6,7	69,4	30,3	0,93	32,5	0,16	1,1	-	-	-	-	-	-
Scarti di cotone	8,5	6,42	-	38,13	1,4	27,3	0,25	1	53,2	21	2	2	2,1	4,2
Frazione solida liquame bovino	76,9	-	86,5	4,09	1,59	26	0,44	0,89	153	23	-	-	-	-
Scarti azotati (C/N>20)														
Sfalci erbosi da r.d.	80,2	5,9	88	39	2,1	19	0,3	2,1	53,3	35,2	12,6	49,5	<0,5	21,7
Organico da r.d.	73,8	4,8	84,6	37,7	3,1	12	0,4	0,9	151	30,3	11,3	53	0,8	-
Vinacce esauste	64,7	3,87	94,3	49,9	23,9	2,09	0,26	1,72	25	231	-	-	-	11
Fanghi di distilleria	81,7	8,45	68,7	38,7	9	4,3	0,68	0,8	173	365	32	29	5,1	23
Fanghi urbani	85	-	74,7	43,5	7,01	6,2	2,13	0,63	519	164	13	40	<1	45,1
Fanghi industria conserviera	91,6	7,11	87,8	39,8	6,9	5,8	0,97	0,19	593,6	114,3	41,8	71,5	2,36	38,9
Fanghi industria dolciaria	76,9	7,18	40,6	8,54	2,04	4,19	1,26	0,34	378,6	71,5	57,8	69,4	0,94	
Frazione solida liquame suino	74,4	-	71,2	40,8	3,7	11	3,42	0,66	1235	288	-	-	-	
Pollina disidratata	57,3	-	65,8	20,6	5,6	4	2,2	2,8	215	78	-	-	-	

4.3. Definizioni

L'evoluzione della sostanza organica nei processi di compostaggio procede sia in termini quantitativi (diminuzione del peso) che qualitativi (modificazione della struttura molecolare delle sostanze in

File 1137-D-0-RT-02 0	Doc. RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 17 di 96
--------------------------	--	-----------------

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

compostaggio). In seguito a tali processi la sostanza organica contenuta diviene stabile, matura ed umificata.

La Stabilità Biologica è quello stato in cui i processi di degradazione aerobiche diventano alquanto rallentati, essa è funzione dell'attività biologica.

Una misura corretta della stabilità biologica è la stima del consumo di ossigeno che può avvenire sia con metodi statici che con metodi dinamici. Nei metodi statici la misura del consumo di ossigeno viene effettuata in assenza di aerazione continua della biomassa, in quelli dinamici invece con un'aerazione continuata. Dal punto di vista operativo il raggiungimento della Stabilità Biologica è importante in quanto significa scarsa "fermentescibilità" e perciò assenza di produzione di cattivi odori e di agenti patogeni. In queste condizioni la biomassa può essere avviata a maturazione in aia all'aperto.

Nella Tabella 3 sono indicati gli indici di respirazione dinamico e statico per diversi tipi di sostanze.

Una stabilità accettabile si ha sicuramente quando l'indice di respirazione dinamico è inferiore a 500 mg O₂/kg S.V./h, questo generalmente può essere ottenuto in condizioni ottimali di processo (umidità >50% e O₂ >12%) in circa 30 giorni. Tempi superiori indicano sicuramente un non corretta conduzione del processo nella fase di ACT.

Un substrato può essere considerato maturo quando non presenta più fenomeni di fitotossicità. L'umificazione della sostanza organica avviene quando nella fase terminale del processo di compostaggio c'è la formazione di una serie di sostanze che sono di fondamentale importanza per le proprietà chimico - fisiche del suolo tanto che molte volte la qualità di un compost si misura in funzione del contenuto delle su menzionate sostanze.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 18 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Tabella 3. Valori dell'Indice di Respirazione Dinamico (IRD) e statico (IRS) per diverse matrici.

Matrici organiche	IRD (mgO ₂ /kg SV/h)	IRS (mgO ₂ /kg SV/h)
FORSU t= 0gg	3581 +/- 198	1344
FORSU t=90gg	95 +/- 33	31
Fango civile +legno t=0gg	182 +/- 25	142
Fango civile +legno t=45gg	135 +/- 56	63
Fango civile +legno t=90 gg	79 +/- 16	62
FORSU+legno t=45gg	1738 +/- 115	405
FORSU+legno t=90gg	338 +/- 66	158
RSU stoccato in discarica per 20 anni	73 +/- 22	42

4.4. Il processo di compostaggio

Come già detto precedentemente, con il termine di compostaggio si indica la biostabilizzazione aerobica in fase solida di matrici organiche putrescibili. Alla base di tale processo ci sono reazioni bioossidative esotermiche, promosse da microrganismi aerobi (batteri, attinomiceti, eumiceti), indicato come biomassa attiva che si nutre per la propria crescita e per la riproduzione il substrato sottoposto a trattamento.

4.4.1. I microrganismi

I maggiori raggruppamenti di microrganismi che partecipano al processo di compostaggio sono, come già accennato precedentemente, i batteri, gli attinomiceti e gli eumiceti. Questi ultimi comprendono le muffe e i lieviti, che, di solito, rivestono un ruolo secondario nella stabilizzazione della sostanza organica. Fanno parte dei tre raggruppamenti specie microbiche sia mesofile (crescita ottimale: 25- 37°C; limite superiore: 45-50°C) che termofile (crescita ottimale 55°C; limite superiore >60°C).

Nel compostaggio, i batteri sono più numerosi degli altri microrganismi. Generalmente, rappresentano anche i decompositori a più alta crescita, sebbene colonizzino il substrato in trasformazione senza che sia possibile individuarli ad occhio nudo. I funghi, d'altra parte, sono i microrganismi di dimensione più grande e si sviluppano sotto forma di intricati filamenti apprezzabili a visione diretta. Essi sopportano meglio condizioni di scarsa umidità e basso pH ma difficilmente

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 19 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle			PROGETTO DEFINITIVO
Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

tollerano basse concentrazioni di ossigeno. I funghi filamentosi, inoltre, sono i più attivi decompositori dei materiali ligno – cellulosici. Gli attinomiceti formano filamenti come i funghi. Dal punto di vista delle dimensioni e della struttura sono però tecnicamente dei batteri. Come i funghi, gli attinomiceti sono in generale aerobi; essi 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 ed hanno, altresì, una scarsa tolleranza per gli ambienti acidi.

I batteri si sviluppano specialmente nei primi stadi del compostaggio proprio a carico dei materiali più prontamente biodegradabili. Funghi ed attinomiceti divengono più importanti verso gli stadi finali del processo, quando sono disponibili le componenti organiche più resistenti (cellulosa, lignina, ecc.) all'attacco microbico. Se la concentrazione di ossigeno all'interno del substrato in compostaggio diventa troppo bassa (<5%) si instaurano condizioni favorevoli allo sviluppo dei batteri anaerobi.

Altri agenti biologici che possono essere associati alle matrici destinate al compostaggio sono gli organismi cosiddetti patogeni (microrganismi, virus, parassiti), i quali risultano potenzialmente dannosi per l'uomo, gli animali d'allevamento e le piante coltivate.

Gli organismi patogeni per gli animali e le piante possono essere presenti soprattutto nelle deiezioni zootecniche e nei residui delle colture.

Per i patogeni umani, particolare attenzione deve essere prestata invece ai fanghi di depurazione. Le alte temperature raggiunte durante il compostaggio, insieme ai fenomeni di competizione ed antagonismo microbico, riescono però a disattivare questi microrganismi o, quantomeno, a ridurre drasticamente il numero.

4.4.2. Cosa accade durante il compostaggio

Il compostaggio inizia non appena la biomassa substrato viene sistemata in cumulo o, comunque, disposta in quantità tale da consentire la ritenzione di calore, indispensabile per il processo di stabilizzazione della stessa. La miscelazione iniziale della matrice organica di partenza introduce aria sufficiente per le reazioni di biossidazione. I microrganismi cominciano a consumare ossigeno e, contemporaneamente, l'assestamento della matrice organica espelle l'aria dagli spazi esistenti tra le particelle di substrato. Se l'adduzione di ossigeno decresce, la decomposizione aerobica rallenta e può, eventualmente, arrestarsi del tutto se l'ossigeno non si rende di nuovo disponibile. L'aerazione del substrato è quindi una condizione fondamentale per fornire continuamente l'ossigeno. Essa può avvenire sia attraverso gli scambi passivi (diffusione e convezione naturale), generalmente insufficienti, tra aria esterna e atmosfera interna alla matrice in compostaggio, sia per ventilazione forzata. La movimentazione del materiale in compostaggio (rivoltamento) garantisce un apporto limitato di ossigeno che viene rapidamente consumato. Il rivoltamento contribuisce, tuttavia, a ridare porosità alla biomassa, favorendo così l'eventuale aerazione passiva.

Poiché il rilascio di calore è direttamente collegato all'attività microbica ossidativa, la temperatura è un ottimo indicatore di processo. L'innalzamento della temperatura a seguito dell'attività microbica è particolarmente marcato nelle 12-48 ore successive alla sistemazione della quantità critica del substrato in cumulo o in reattore e contestualmente al consumo di composti facilmente degradabili (zuccheri solubili, acidi organici, ecc.) Le temperature dei materiali sottoposti a compostaggio seguono di norma un andamento di rapida crescita fino a 55-60°C. Se il calore non viene adeguatamente dissipato, la temperatura di alcune matrici organiche in biossidazione può superare con facilità anche i 65-70°C, provocando la disattivazione della maggior parte dei microrganismi. Il

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 20 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

rivoltamento o l'aerazione forzata consentono di raffreddare il substrato e di mantenere la temperatura lontana dai valori critici per la crescita microbica. La fase termofila può protrarsi, a seconda delle caratteristiche della biomassa substrato e del sistema di compostaggio adottato, da alcune settimane a qualche mese.

Allo stadio termofilo segue una fase di lenta ma progressiva diminuzione della temperatura, durante la quale la matrice in compostaggio si arricchisce di composti umici, perde la eventuale fitotossicità residua, mentre la biomassa microbica si avvia ad una condizione di equilibrio dinamico (fase di curing).

4.5. Fasi del processo di compostaggio in progetto

Come detto in precedenza, il processo di compostaggio è

- aerobico (necessità di ossigeno per la mineralizzazione delle componenti a maggiore fermentescibilità, con conseguente stabilizzazione della biomassa), ed
- esotermico (viene prodotto calore che va in certa misura allontanato dal sistema, onde evitare il surriscaldamento della biomassa in eccesso rispetto ai valori ottimali di range delle temperature)

Le fasi principali del processo sono due:

- **Fase attiva** (Biossificazione accelerata o Active Composting Time – ACT), in cui sono più intensi e rapidi i processi di degradazione delle componenti organiche maggiormente fermentescibili; in questa fase, che si svolge tipicamente in condizioni termofile, si raggiungono elevate temperature e, conseguentemente, si ha la necessità di asportare l'eccesso di calore dal sistema, operazione che viene condotta utilizzando eccesso d'aria rispetto alla stechiometria delle reazioni di degradazione. Naturalmente, in questa fase si ha una elevata richiesta di ossigeno necessario alle reazioni biochimiche;
- **Fase di maturazione** (Curing) in cui si completano i fenomeni di degradazione (a carico delle molecole meno reattive) ed in cui intervengono reazioni di trasformazione e polimerizzazione a carico delle stesse (con particolare riferimento alla lignina), che portano alla "sintesi" delle sostanze umiche. Sia le esigenze di rimozione del calore che quelle di adduzione di ossigeno al sistema sono minori rispetto alla fase attiva.

L'evoluzione della sostanza organica durante il compostaggio procede sia quantitativamente, con una evidente riduzione volumetrica e ponderale, che qualitativamente, con una modificazione anche consistente delle caratteristiche chimiche della sostanza organica contenuta nel compost rispetto a quella originaria delle biomasse ad inizio trattamento.

Dal punto di vista qualitativo la sostanza organica, una volta terminato il processo di compostaggio, si presenta:

1. Stabile, cioè con processi degradativi di natura biologica alquanto rallentati; la misura della stabilità di una biomassa si può concretizzare attraverso la determinazione analitica di
 - contenuto residuo in Sostanza Organica (od in Solidi Volatili)
 - indici di respirazione statico o dinamico (legati alla attività metabolica residua)

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 21 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

- concentrazione di ammoniaca (legata alla persistenza di attività di degradazione e proteolisi in misura superiore a quelle di nitrificazione dell'ammoniaca);

2. Matura, cioè non presenta fenomeni di fitotossicità, misurabili con l'omonimo test;
3. Umificata, cioè dotata opportunamente di molecole umiche (humus) originatesi da reazioni di umificazione a carico delle componenti della sostanza organica più recalcitranti alla mineralizzazione.

Come detto, le fasi del compostaggio sono essenzialmente due e ben distinte: la prima (più intensa) è la mineralizzazione (o bioossidazione in senso stretto), la seconda (più lenta) è l'umificazione.

Nella prima si opera in condizioni bioossidative sui substrati organici iniziali; la mineralizzazione comporta la degradazione della sostanza organica più fermentescibile (sostanze a struttura semplice quali zuccheri, acidi, amino-acidi, ecc.) associata ad una intensa attività microbica con conseguente produzione di calore, anidride carbonica, acqua nonché di un residuo organico parzialmente trasformato e stabilizzato. Esaurita la frazione organica assimilabile, la decomposizione continua con processi più lenti a spese di molecole più complesse e delle spoglie microbiche.

Nella seconda fase si completa il processo di trasformazione della sostanza organica in condizioni meno ossidative (anche se sempre aerobiche o microaerobiche) in modo da permettere la formazione delle sostanze umiche ed eliminare eventuali composti fitotossici formati nella prima fase. Questa fase di umificazione è condotta da microorganismi specifici che sintetizzano polimeri tridimensionali complessi che a loro volta costituiscono il substrato energetico per future attività microbiche ed aggluminanti per il terreno; queste strutture sono responsabili della fertilità del suolo.

E' da sottolineare la differenziazione fra la fase bioossidativa e le fase di maturazione riguardo al contenuto minimo di ossigeno nella massa di materiale in trasformazione.

Nella prima fase infatti è necessario garantire una sufficiente aerazione per permettere un avvio corretto delle trasformazioni microbiche ed avere un innalzamento della temperatura tale da igienizzare il materiale; secondo molti autori, l'ossigeno durante la fase bioossidativa deve essere compreso tra il 5 e il 15%.

Nella seconda fase vengono invece favoriti i processi di formazione dell'humus in condizioni aerobiche e microaerobiche, ma non fortemente ossidative, in modo da evitare una eccessiva mineralizzazione della sostanza organica. In questa fase di maturazione, la richiesta di ossigeno è minore, i processi biologici diventano più lenti e la temperatura subisce una parziale riduzione; è in questa fase che avviene la formazione di humus con un processo piuttosto lento e in cui si registra un contenuto di ossigeno compreso tra 1 e 5%.

Considerando i diversi stadi di formazione dell'humus, si può identificare la fase bioossidativa del compostaggio con quella degradativa delle sostanze organiche, mentre la fase di sintesi delle sostanze umiche, pur iniziando nella prima fase del compostaggio, si sviluppa e viene ultimata nella fase di maturazione del compost.

La trasformazione della sostanza organica nel corso del processo di compostaggio è rappresentata nello schema riportato in figura.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 22 di 96

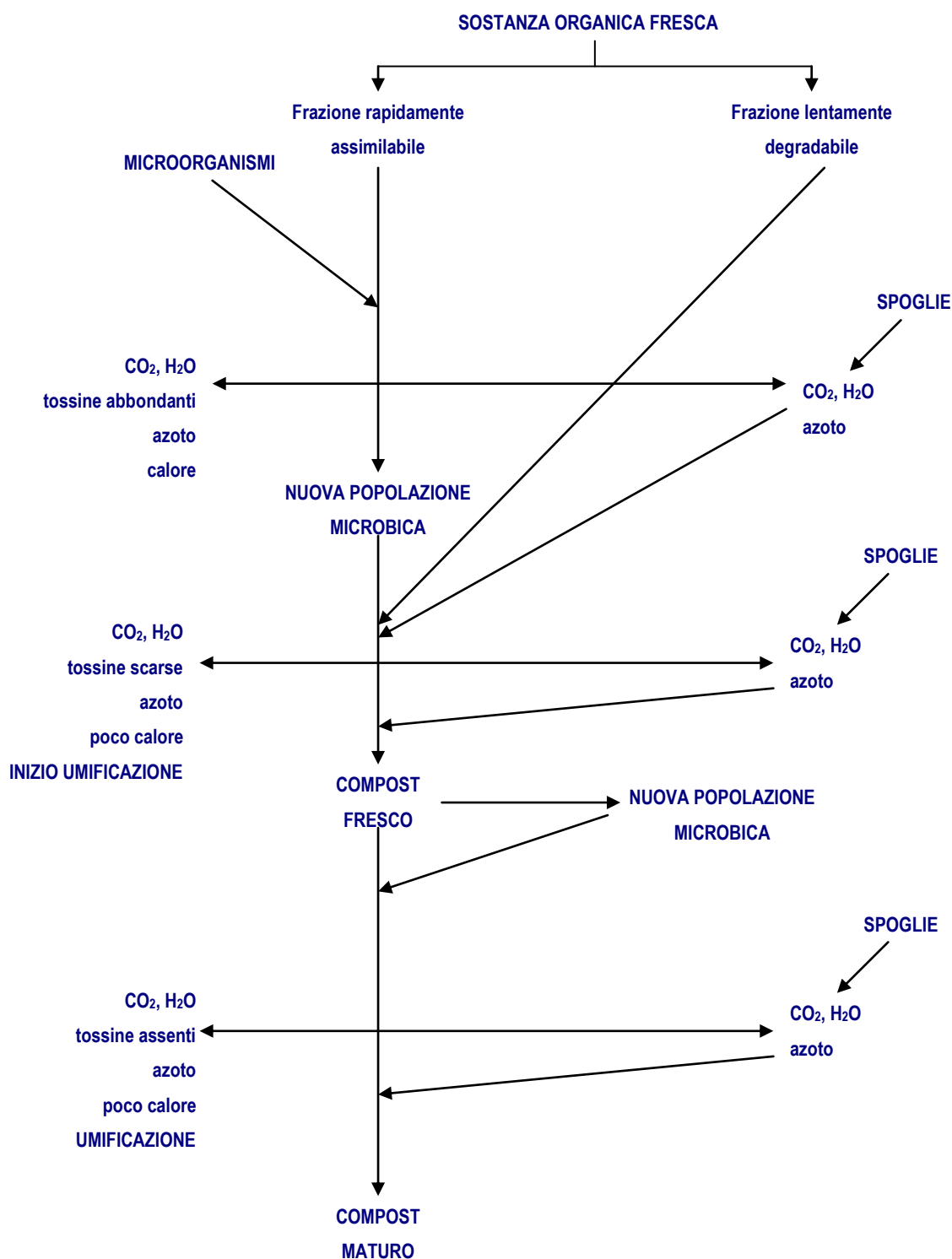


Figura 5 Rappresentazione schematica della evoluzione della sostanza organica nel corso del processo di compostaggio (R. Barberis, M. Consiglio, P. Nappi, 1990).

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

4.6. Parametri che influenzano il processo di compostaggio

Il compostaggio è essenzialmente un processo microbiologico che avviene in condizioni controllate per cui, tutti quei fattori in grado di influire sulle attività dei microrganismi coinvolti, lo caratterizzano e ne determinano l'andamento.

I fattori che condizionano l'andamento del compostaggio sono:

- a. la concentrazione di ossigeno e l'aerazione;
- b. la concentrazione ed il rapporto di nutrienti nella biomassa substrato (rapporto C/N);
- c. l'umidità;
- d. la porosità, la struttura, la tessitura e la dimensione delle particelle (pezzatura) della matrice in trasformazione;
- e. il pH;
- f. la temperatura;
- g. il tempo.

4.6.1. Concentrazione di ossigeno ed aerazione

Il compostaggio consuma notevoli quantità di ossigeno. Come già accennato, durante i primi giorni del processo, le componenti più facilmente degradabili della biomassa substrato sono rapidamente metabolizzate. Il bisogno di ossigeno e, di conseguenza, la produzione di calore sono perciò decisamente migliori nei primi stadi della biostabilizzazione, mentre decrescono con l'evolversi del processo. Nel caso in cui l'apporto di ossigeno sia limitato, il compostaggio rallenta. Anche se una concentrazione minima di ossigeno del 5% nell'atmosfera circolante tra le particelle della biomassa substrato può consentire il compostaggio, per la gestione ottimale del processo dovrebbero essere garantite concentrazioni di O₂ non inferiori al 10%.

Senza una sufficiente ossigenazione, la biomassa microbica substrato diviene anossica e la microflora anaerobica prende il sopravvento, portando all'accumulo di composti ridotti (acidi grassi volatili, idrogeno solforato, mercaptani, ecc.), caratterizzati da odore aggressivo e da elevata fitotossicità. Sebbene alcuni dei suddetti composti intermedi, come gli acidi organici, si formino anche in condizioni aerobiche, questi sono rapidamente degradati quando l'ossigeno è disponibile. 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 appunto con le reazioni di decomposizione anaerobica.

L'aerazione del materiale in compostaggio per garantire l'apporto di ossigeno necessario al processo rende, inoltre, possibili le dissipazioni del calore, l'eliminazione del vapore d'acqua e l'allontanamento di altri gas intrappolati nell'atmosfera interna del substrato. In effetti, il tasso di aerazione richiesto per la rimozione del calore può essere anche dieci volte maggiore di quello necessario per l'apporto di ossigeno. Di conseguenza, è la temperatura che normalmente determina l'estensione e la frequenza degli interventi di aerazione.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 24 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

4.6.2. Concentrazione e rapporto dei nutrienti

Carbonio (C), azoto (N), fosforo (P) e potassio (K) sono gli elementi nutritivi principali richiesti dai microrganismi coinvolti nel processo di compostaggio.

Azoto, fosforo e potassio sono, inoltre, i principali nutrienti delle piante e, perciò, la loro concentrazione finisce per influenzare anche il valore del compost.

La maggior parte delle matrici organiche destinabili al compostaggio, inclusi anche i residui delle colture e gli scarti verdi dei mercati ortofrutticoli, contengono ampiamente i principali nutrienti. E', però, soprattutto la quantità di carbonio e di azoto della biomassa substrato che ne può influenzare la stabilizzazione. In generale, i microrganismi utilizzano, per le reazioni energetiche e la crescita, carbonio in ragione circa venti volte maggiore dell'azoto.

Ne consegue che è importante la disponibilità di C ed N in appropriate proporzioni. La quantità di carbonio riferita a quella di azoto si indica comunemente con il rapporto C/N.

Le matrici organiche da avviare al compostaggio dovrebbero avere un rapporto C/N compreso tra 20:1 e 30:1 per garantire un andamento ottimale del processo. In taluni casi, tuttavia, risultati accettabili possono ottenersi con materiali di partenza aventi rapporto C/N fino a 40:1.

Con rapporti C/N inferiori a 20:1, il carbonio disponibile è completamente utilizzato senza che, di contro, sia stato stabilizzato tutto l'azoto presente.

L'eccesso di azoto può, allora, essere perduto in atmosfera sotto forma di ammoniaca o di ossido nitroso, causando fastidiose emissioni maleodoranti.

Substrati di partenza con rapporto C/N superiore a 40:1 richiedono tempi di compostaggio lunghi, dovuti alla più lenta crescita microbica in presenza di matrice carboniosa in eccesso.

L'andamento del parametro C/N nel corso del processo varia quindi in relazione al rapporto carbonio-azoto di partenza: esso tende a diminuire costantemente fino a valori tipici della sostanza organica umificata che si possono riscontrare nei terreni naturali.

Maggiore è il rapporto C/N iniziale, maggiore è il tempo necessario a completare la fase di maturazione; il C/N finale di prodotti di buona qualità si attesta su valori compresi tra 15 e 20.

In realtà gli impianti nascono ed operano per garantire il trattamento delle diverse biomasse generate sul territorio e di cui viene programmata la selezione e l'avvio a compostaggio.

Il controllo su questo parametro non rientra dunque in genere nella consuetudine operativa, pur aiutando l'interpretazione di certi fenomeni (es. difficoltà di avvio della fase termofila per alto C/N) laddove questi si presentino.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 25 di 96

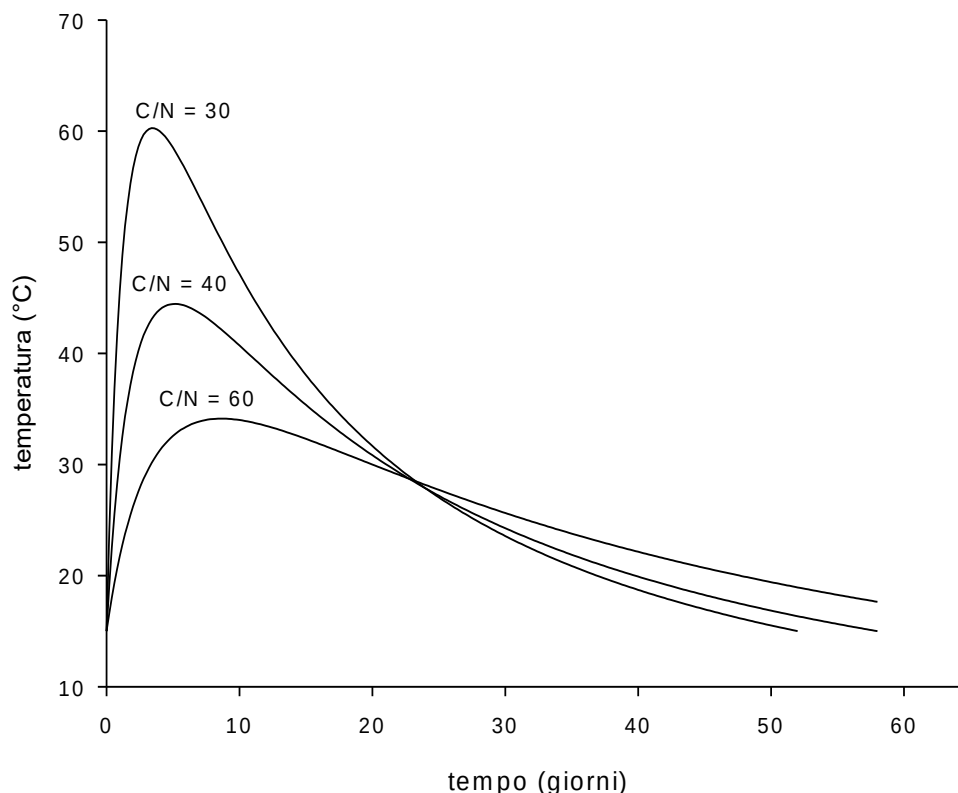


Figura 6 Sviluppo delle reazioni di biodegradazione in funzione del rapporto C/N

Ricopre un ruolo analogo a quello dell'azoto il fosforo la cui fonte di approvvigionamento è rappresentata dai fanghi; il valore iniziale del **rapporto C/P** non deve superare 200 e al termine del compostaggio si deve attenere su valori intorno a 100.

Altri macroelementi (Ca e Mg) e tutti gli oligoelementi, in genere presenti nei vari tipi di rifiuti, sono più o meno importanti nell'ambito di questo processo; essi infatti stimolano l'attività microbica e catalizzano le funzioni biochimiche.

I parametri considerati costituiscono gli indicatori della evoluzione in atto della sostanza organica ed il tempo necessario al completamento dell'intero processo varia considerevolmente in funzione di essi; secondo alcuni autori il tempo necessario a completare la fase attiva del processo oscilla tra un minimo di 10 ed un massimo di 20 giorni (escluso quello per la maturazione).

Nelle prime applicazioni industriali é stato proposto, come mezzo per accelerare le reazioni di biostabilizzazione, l'uso di inoculi termine con cui si indicano i microorganismi che sono aggiunti al materiale avviato al compostaggio al fine di incrementare il processo (G. Vallini et all., 1994).

La maggior parte degli studi sull'argomento hanno dimostrato che:

- non sono né necessari né vantaggiosi in quanto nel rifiuto da trattare sono presenti naturalmente i microorganismi più efficienti ed adatti al processo;

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

- i microorganismi “inoculati”, anche se in dose rilevante, soccombono nei fenomeni di competizione che si vengono a creare con le popolazioni “indigene” delle matrici di partenza;
- possono risultare utili per il trattamento di substrati con carica microbica naturale assente, bassa, molto lenta nello sviluppo o in residui organici sterilizzati; in questo caso risulta più efficace l'inoculo con compost ottenuto dalla biostabilizzazione aerobica della stessa matrice che si vuol trattare.

Vanno inoltre smentite le dichiarazioni di alcuni costruttori di impianti circa la possibilità di ottenere materiale umificato in soli 2-3 giorni e a questo proposito si riportano le testuali parole di De Bertoldi e coll. (in G. Barazzetta, 87): *“pur ottimizzando tutti i parametri che possono condizionare il metabolismo microbico, il tempo richiesto per la trasformazione di un substrato organico in compost resta un fattore legato alla velocità di duplicazione dei microorganismi coinvolti, fattore genetico questo, che ben poco può essere modificato da interventi esterni.*

Si parla pertanto sempre di tempi di maturazione che, anche in condizioni ottimali si aggirano attorno al mese. Qualora i principali fattori che condizionano il processo non raggiungano il livello ottimale, la trasformazione in compost può durare parecchi mesi, senza peraltro garantire l'ottenimento di un prodotto agronomicamente valido”.

4.6.3. Umidità

Altro parametro da tenere in considerazione è **l'umidità**; il compostaggio è infatti un processo biologico per cui il grado di umidità deve essere tale da garantire le condizioni di vita dei microrganismi per i quali l'acqua serve da veicolo per gli enzimi e per gli scambi nutritivi attraverso le membrane cellulari.

L'umidità è necessaria affinché i processi metabolici microbici possano attuarsi. La fase acquosa è il mezzo dove avvengono le reazioni chimiche, la diffusione ed il trasporto dei nutrienti, i movimenti e la migrazione dei microrganismi. In teoria, l'attività biologica trova le condizioni ottimali in un ambiente saturo.

Di contro, essa cessa completamente al di sotto del 15% di umidità. In pratica, tuttavia, i materiali avviati al compostaggio dovrebbero avere un contenuto di umidità compreso in un intervallo tra il 45 ed il 65%. Numerose esperienze hanno dimostrato che, approssimandosi l'umidità della matrice organica al 40%, l'attività microbica procede molto lentamente. In condizioni di umidità >65%, l'acqua espelle l'aria dalla maggior parte degli spazi interstiziali tra le particelle della matrice organica. Ciò ostacola la diffusione dell'ossigeno e può favorire l'insorgenza di condizioni microaerofile o addirittura anossiche.

L'umidità varia a seconda del sistema di compostaggio utilizzato, dello stato fisico dei rifiuti, della miscela trattata e della sua porosità; queste ultime due caratteristiche sono a loro volta influenzate dalla capacità di ritenzione idrica del supporto.

Siccome l'umidità del substrato diminuisce con il procedere del compostaggio, il contenuto d'acqua del materiale in partenza dovrebbero essere ben più alto del 45%. Matrici organiche troppo secche per essere avviate al compostaggio possono essere mescolate con substrati molto umidi, in modo da raggiungere umidità nella miscela pari a 50-60%.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 27 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

In tabella 4 vengono riportati i range ottimali di umidità nelle diverse fasi del compostaggio per un processo mediamente veloce.

Tabella 4. Range ottimali di umidità

Settimana	Range ottimale di umidità (%)
1	55 - 65
2	53 - 60
3	50 - 57
4	46 - 51
5	42 - 47
6	38 - 43
7	35 - 40
successive	35 - 40

Fonte: Regione Campania – Commissariato di Governo per l'Emergenza Rifiuti: Linee Guida per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di compostaggio e stabilizzazione

4.6.4. Porosità, struttura, tessitura e dimensioni 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. Queste proprietà possono essere corrette ricorrendo ad operazioni di triturazione e sminuzzamento dei substrati di partenza ovvero della miscelazione di questi con matrici definite agenti di supporto (bulking agents).

La porosità è una misura degli spazi vuoti nella biomassa in compostaggio e determina la resistenza alla circolazione dell'aria. Essa dipende dalla dimensione delle particelle, dalla distribuzione granulometrica dei materiali e dalla continuità degli interstizi tra le particelle.

La struttura indica la rigidità delle particelle, vale a dire la resistenza delle stesse a collassarsi e compattarsi. Un buon grado di struttura previene la perdita della porosità del substrato umido, sistemato in quantità critica (in cumulo o in reattore) per il processo.

La tessitura è la caratteristica che descrive l'area superficiale del substrato disponibile per l'attività microbica aerobica.

Come già accennato, nel corso del compostaggio, le reazioni di degradazione avvengono soprattutto alla superficie della matrice in trasformazione. Infatti, i microrganismi aerobi si concentrano nel sottile strato acquoso che contorna le particelle del substrato, utilizzando l'ossigeno all'interfaccia tra la fase liquida e la fase gassosa degli interstizi.

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, però, rischiano di compromettere la porosità ed è quindi

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 28 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

necessario trovare una soluzione di compromesso. Risultati soddisfacenti si ottengono normalmente quando il diametro medio della matrice sottoposta a compostaggio oscilla tra 0,5 e 5 cm.

E' interessante osservare che la triturazione del materiale favorisce il buon andamento del processo perché aumenta la superficie attaccabile dai microorganismi ma se esagerata, può comportare un risultato negativo dovuto al costipamento del materiale.

4.6.5. pH

Il compostaggio è relativamente poco sensibile al pH dei substrati di partenza; ciò in ragione dell'ampio spettro di microrganismi associati ai substrati stessi e coinvolti nelle reazioni del processo. I valori ottimali del pH cadono nell'intervallo tra 6,6 e 8, tuttavia la naturale capacità tampone del processo rende possibile l'impiego di substrati con pH compreso in un ben più ampio spettro. Il compostaggio, in effetti, può innescarsi anche in matrici tendenzialmente acide, con pH fino a 5,5, ovvero alcaline, con pH fino a 9.

Il pH comincia ad essere un parametro importante nei substrati che presentano un elevato contenuto di azoto (es.: deiezioni zootecniche).

Valori di pH > 8,5 facilitano, in questi casi, la conversione dei composti azotati in ammoniaca ad opera dei microrganismi ammonizzanti, con conseguenti sensibili perdite di azoto attraverso la volatilizzazione di NH₃. Quest'ultima contribuisce all'impatto olfattivo sgradevole delle emissioni gassose e determina, inoltre, nella matrice, un ulteriore aumento dell'alcalinità.

In queste circostanze, si rende necessaria la miscelazione con matrici acidificanti come i residui vegetali freschi. Nel materiale in corso di compostaggio i valori del pH cambiano con il progredire del processo.

Così, il rilascio di acidi organici può contemporaneamente abbassare il pH nei primi stadi della biostabilizzazione. Durante la fase termofila, con l'intensificarsi del rilascio di ammonio (NH₄OH) nel mezzo ad opera della microflora ammonizzante, il pH subisce un sensibile aumento. Il pH torna nuovamente a scendere durante la fase di finissaggio, anche grazie all'attività dei batteri nitrificanti che trasformano l'ammonio in acido nitroso e nitrico.

4.6.6. Temperatura

Un altro dei parametri, tra i più indicativi, che caratterizza le varie fasi del processo di compostaggio è certamente la **temperatura** della massa, risultato delle reazioni esoenergoniche condotte dai microorganismi; nella fase fermentativa del processo si ha dapprima un repentino innalzamento in cui è possibile distinguere un primo stadio mesofilo e un successivo termofilo, seguito dalle fasi di raffreddamento e di maturazione (fig. 2).

Nella fase mesofila si ha l'avvio della decomposizione delle sostanze più facilmente biodegradabili (zuccheri e proteine) da parte dei batteri. La loro attività decresce con l'aumentare della temperatura fino ad annullarsi quando si superano i 40°C.

Successivamente inizia l'azione dei microorganismi termofili (attinomiceti e funghi) che operano in condizioni di temperatura di 60-65°C. Oltre 60°C muore la flora termofila fungina pur proseguendo l'attività degli attinomiceti. Il processo si arresta quando il materiale facilmente biodegradabile è

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 29 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

totalmente consumato; a questo punto inizia il raffreddamento della massa accompagnato dalla reinvasione dei funghi termofili che cominciano l'attacco dei materiali cellulosici.

A digestione completata diminuisce l'attività microbica e la temperatura si avvicina a quella esterna.

Da sottolineare che nei cumuli di maturazione si registrano le stesse condizioni termiche sia nelle zone più interne che in quelle superficiali anche se in queste ultime il ciclo si svolge in tempi più brevi e si raggiungono livelli di temperature massime inferiori; si considerano spenti quando la temperatura scende definitivamente al di sotto dei 30 gradi.

L'andamento della temperatura favorisce l'attività dei saprofiti responsabili del processo di trasformazione del materiale in compostaggio; temperature molto superiori ai 60°C comportano una riduzione della carica microbica con rallentamento della trasformazione della sostanza organica.

Per questo motivo, condizioni operative in cui si tenta di ottimizzare ed accelerare il processo aumentando la temperatura, sono sconsigliate da parecchi autori.

La microflora saprofita, costituita da specie mesofile e termofile, rappresenta la popolazione naturale del mezzo ed esercita azioni antagonistiche verso i patogeni che costituiscono una porzione irrilevante nell'ambito della microflora totale.

E' proprio questa competizione microbica che permette il controllo dei patogeni durante il compostaggio; i saprofiti prevalgono sui patogeni poiché i primi restano nel loro ambiente naturale mentre i secondi si vengono a trovare in un habitat nuovo e oltretutto non adatto.

Quando si parla di patogeni si includono sia quelli interessanti le piante (fitopatogeni) e gli animali che l'uomo; riguardo ai primi, si può affermare che il processo, se opportunamente condotto, può garantirne l'eliminazione.

Più importanti sono invece i patogeni per l'uomo che possono anche essere abbondantemente presenti in dipendenza del materiale di partenza. I più importanti sono gli enterobatteri, alcuni virus ed alcune specie di funghi opportunistici.

E' stato comunque dimostrato (parecchi dati sono disponibili in letteratura) che il compostaggio, condotto in condizioni controllate, permette di ridurre notevolmente la quantità di alcuni batteri (come coliformi e streptococchi fecali) e di eliminarne alcuni particolarmente pericolosi (come le salmonelle).

Una considerevole letteratura internazionale afferma che, nei limiti di temperatura compresi tra 50 e 70°C, avviene la morte della maggior parte dei microorganismi mesofili ivi comprese molte specie patogene; se tutta la massa di materiale organico in compostaggio è sottoposta a 55-60°C di temperatura per alcuni giorni (non meno di 2-3), il prodotto finale che si ottiene si può considerare sufficientemente igienizzato.

Le alte temperature che si raggiungono nel corso del compostaggio garantiscono la distruzione dei patogeni presenti nei fanghi e nei rifiuti solidi urbani come riportato in tab.5.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 30 di 96

Tabella 5. Temperature e tempi di esposizione necessari alla distruzione dei più comuni agenti patogeni e parassiti occasionalmente presenti nei rifiuti¹.

<i>Salmonella typhosa</i>	arresta la crescita sopra i 46 gradi; muore in 30 minuti a 55-60 gradi e entro 20 minuti a 60 gradi; è distrutta in poco tempo in ambienti di compostaggio
<i>Salmonella sp.</i>	muore entro un'ora a 55 gradi e entro 20 minuti a 60 gradi
<i>Shigella sp.</i>	muore entro un'ora a 65 gradi
<i>Escherichia coli</i>	la maggior parte muore entro un'ora a 55 gradi ed entro 15-20 minuti a 60 gradi
<i>Entamoeba histolitica</i>	muore in pochi minuti a 45 gradi ed entro pochi secondi a 55 gradi
<i>Taenia saginata</i>	muore entro pochi minuti a 55 gradi
<i>Trichinella spiralis</i>	muore velocemente a 55 gradi e istantaneamente a 60 gradi
<i>Brucella abortus e Brucella suis</i>	muoiono in 3 minuti a 62-63 gradi e un'ora a 55 gradi
<i>Micrococcus piogenes</i>	muore in 10 minuti a 50 gradi
<i>Streptococcus piogenes</i>	muore in 10 minuti a 54 gradi
<i>Mycobacterium tuberculosis var.hominis</i>	muore in 15-20 minuti a 66 gradi
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	muore in 45 minuti a 55 gradi
<i>Necator americanus</i>	muore in 50 minuti a 45 gradi
<i>Ascaris lumbricoides</i>	muore in meno di un'ora a temperature maggiori di 50 gradi

In conclusione, quindi, la temperatura si innalza come conseguenza del calore biogeno sviluppato dai processi degradativi; il suo accumulo nella massa dipende dall'equilibrio tra sviluppo di calore (legato alla fermentescibilità degli scarti) e dispersione di calore (legato alla dimensione della massa ed alla sua umidità, dal momento che l'evaporazione di acqua assorbe calore sia per l'innalzamento della temperatura dell'acqua stessa che per il suo passaggio allo stato di vapore).

Nella fase attiva, con biomasse non eccessivamente umide e cumuli di dimensioni adeguate, la temperatura può anche superare agevolmente i 70°C, garantendo in tal modo le condizioni per la igienizzazione del materiale (3 giorni a 55°C per la legislazione italiana).

Le condizioni termometriche ottimali per i processi di stabilizzazione sono invece quelle tendenzialmente mesofile (attorno a 40-45°C); per tale motivo è opportuno adottare sistemi di

¹ R. G. Barazzetta, 1987

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

rimozione del calore in eccesso, utilizzando efficacemente i flussi d'aria naturali (per diffusione e convezione) od indotti (sistemi di aerazione forzata della biomassa).

In molti sistemi di processo, e in particolare nel caso della presente progettazione, la temperatura viene in realtà mantenuta attorno ai 50°C, per ricercare un compromesso tra le esigenze di asportazione del calore in eccesso (che richiederebbero flussi d'aria anche superiori), quelle di risparmio energetico e quelle di prevenzione dei disseccamenti precoci (che richiedono invece un abbassamento delle dimensioni dei flussi d'aria).

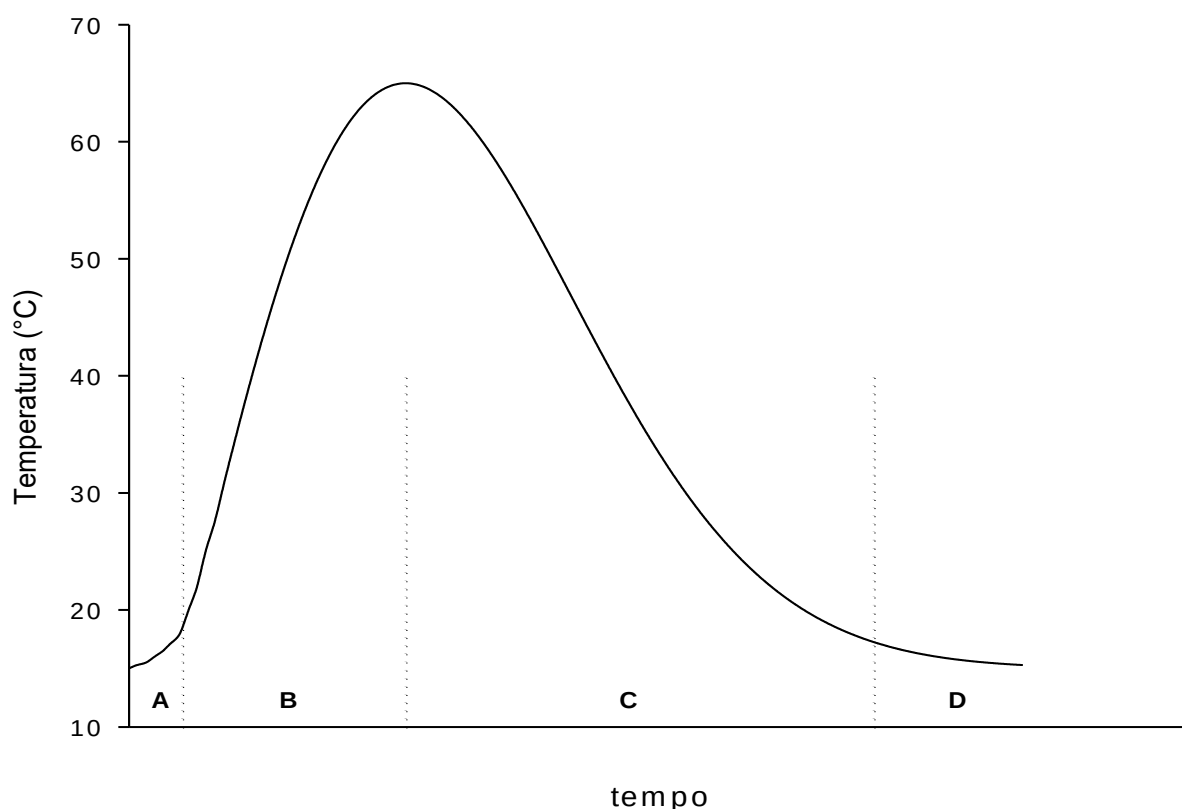


Figura 7 A = Stadio mesofilo; B = Stadio termofilo; C = Stadio di raffreddamento; D = Stadio di maturazione.

Di solito, nel caso di matrici putrescibili, la fase di compostaggio attivo si verifica a temperature comprese tra 45°C e 70°C.

In speciali applicazioni del compostaggio, non finalizzate alla produzione di ammendante organico bensì alla detossificazione di rifiuti tossici di origine industriale (es.: melme di raffineria), il processo si svolge invece, data la natura del substrato, tutto nell'ambito della mesofilia (10-45°C) (compostaggio mesofilo).

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 32 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Le temperature sono importanti per la distruzione degli eventuali microrganismi patogeni associati alla biomassa substrato di partenza. Il limite largamente fissato per la disattivazione dei patogeni umani è 55°C.

Questa temperatura è in grado di abbattere anche la maggior parte degli organismi fitopatogeni, mentre per i semi delle erbe infestanti, sono necessario temperature non inferiori a 60°C.

La decomposizione microbica durante il compostaggio rilascia una grande quantità di energia sotto forma di calore. Le proprietà auto - coibentanti dei materiali avviati al compostaggio favoriscono l'accumulo di calore, il quale a sua volta, provoca l'innalzamento della temperatura. Allo stesso tempo, la biomassa in trasformazione perde continuamente calore grazie all'evaporazione dell'acqua ed ai movimenti d'aria che rimuovono il vapore acqueo ed i gas caldi (es. CO₂) dal substrato.

Tutti i sistemi di aerazione accelerano la perdita di calore e, quindi, sono usati per mantenere la temperatura nell'intervallo compatibile con l'attività microbica dei microrganismi. È importante ricordare, che nei casi di scarsa dissipazione dell'eccesso di calore generato dalle reazioni ossidative esotermiche, la temperatura può raggiungere e superare i 70°C.

A questo punto la quasi totalità dei microrganismi soccombe o diventa dormiente ed il processo si arresta, per riprendere solo quando la popolazione microbica avrà re-invaso il substrato.

Ad evitare questa situazione giova un puntuale monitoraggio della temperatura e l'attivazione, quando questa si avvicina ai 60°C, di sistemi come il rivoltamento o la ventilazione forzata, che accelerino la rimozione del calore.

4.6.7. Tempo

La lunghezza del tempo necessario per trasformare in compost i substrati avviati alla biostabilizzazione aerobica dipende da molti fattori quali le caratteristiche della matrice organica di partenza, la temperatura, l'umidità ed il tipo di aerazione.

Un adeguato contenuto di umidità (60-65%), un corretto rapporto C/N (≈ 25) ed un'efficace aerazione della massa consentono di realizzare il compostaggio in tempi decisamente contenuti (poche settimane).

Le condizioni che rallentano il processo di stabilizzazione sono invece, come già accennato altrove, la scarsa umidità del substrato, rapporti C/N eccessivamente alti (>40) della biomassa di partenza, basse temperature, un insufficiente aerazione, la pezzatura troppo grossolana delle particelle della matrice organica e la presenza significativa, in quest'ultima, di materiali refrattari all'attacco microbico.

In generale, la completa biostabilizzazione (fase di compostaggio attivo + fase di finissaggio) delle matrici organiche putrescibili sottoposte a compostaggio in condizioni favorevoli si realizza non prima di otto settimane. Nella 0 sono sintetizzati i valori ottimali dei parametri del processo di compostaggio.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 33 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Tabella 6. Valori ottimali dei parametri di processo

PARAMETRI OPERATIVI	VALORI OTTIMALI *
Umidità	55 - 63%
Aerazione concentrazione ossigeno	5 - 15%
Rapporto C/N	25 - 30
Temperatura	35 - 60°C
pH per lo sviluppo ottimale dei batteri	6,5 - 8,5
Dimensione delle particelle (diametro)	0,5 - 5,0 cm
Densità apparente	550 - 650 kg/m ³
<i>* Questi valori sono riferiti a condizioni di compostaggio rapido. Al di fuori di questi, il processo si attuerà con risultati soddisfacenti anche se i tempi saranno maggiori.</i>	

4.7. Trasformazione dei materiali sottoposti a compostaggio.

Durante il compostaggio, i microrganismi trasformano in compost i materiali organici del substrato di partenza attraverso un complesso meccanismo reattivo di degradazione e modificazione delle varie componenti organiche, accompagnate da resintesi e reassemblaggio di nuove molecole.

La biomassa substrato si presenta infatti come una miscela eterogenea di particelle costituite da sostanze di composizione diversa, molte delle quali sono facilmente degradabili e sorgenti potenziali di odori.

Completandosi, nel tempo, il processo di stabilizzazione, la miscela di partenza diventa più uniforme e meno attiva da un punto di vista biologico. Se il compostaggio ha avuto modo di attuarsi correttamente, poco o nulla delle componenti organiche originali del substrato è ancora riconoscibile. La matrice assume un colore sempre più scuro che può variare dal bruno al bruno scuro o quasi nero. Le particelle sono ormai di dimensioni ridotte rispetto a quelle di partenza, appaiono più consistenti e presentano una aggregazione globulare che conferisce al compost una tessitura simile a quella di un terreno ben strutturato.

Nel corso del processo la matrice organica si arricchisce di frazioni umiche, il rapporto C/N iniziale del substrato diminuisce e il pH tende, normalmente, a valori intorno alla neutralità.

Il compostaggio consente la riduzione del volume della biomassa iniziale, variabile da 1/4 a più di 1/2 del volume originario, a seconda delle caratteristiche della matrice di partenza. La maggior parte del calo di volume è imputabile alla evaporazione dell'acqua.

Contribuiscono a tale riduzione anche la perdita di CO₂, a seguito dei processi di mineralizzazione di alcune frazioni organiche, e la trasformazione della matrice grossolana di partenza in un materiale friabile, di fine tessitura. Il rilascio di acqua sotto forma di vapore rappresenta inoltre il fattore principale della diminuzione del peso dei materiali sottoposti a compostaggio, i quali possono arrivare a perdere dal 40% fino all'80% del peso originario.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 34 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Nonostante alcune inevitabili perdite di azoto sotto forma di ammoniaca, la maggior parte dei nutrienti viene persa dalle matrici in compostaggio e si ritrova nel compost legata principalmente a composti organici stabili. Ciò riduce l'immediata disponibilità dei fattori di fertilità per le piante ma fa sì che il compost agisca da ammendante a lento e graduale rilascio.

Il graduale calo del rapporto C/N durante il compostaggio è dovuto principalmente alle perdite di CO₂ a seguito dei processi di completa ossidazione di alcuni composti organici presenti nella matrice di partenza.

4.7.1. Generalità sul compostaggio in bioreattore

Con il termine compostaggio in bioreattore (in-vessel composting) si indica la stabilizzazione della biomassa substrato in particolari strutture di contenimento, dove tecniche di movimentazione e di aerazione forzata della matrice sono variamente combinate. I "bioreattori" possono essere contenitori chiusi o semplici vasche aperte. La maggior parte di questi apparati assolve solo ad una prima omogenizzazione e trasformazione delle matrici organiche. Una successiva fase di biostabilizzazione aerobica del materiale in uscita dai reattori avviene, di solito, attraverso uno dei numerosi sistemi in cumulo (fase di maturazione).

Da un punto di vista delle applicazioni tecnologiche, le più diffuse tipologie di bioreattori sono: i cilindri rotanti, i silos, le biocelle e le trincee dinamiche aerate.

Cilindri rotanti, silos e biocelle rientrano nella categoria dei reattori chiusi, mentre le trincee dinamiche aerate sono un esempio di reattori aperti. A loro volta, cilindri rotanti, silos e trincee dinamiche aerate, contrariamente alle biocelle, prevedono la movimentazione della biomassa substrato all'interno del reattore.

4.7.2. Le biocelle.

Il compostaggio mediante biocelle prevede un preliminare trattamento della biomassa substrato all'interno di vere e proprie camere chiuse, dotate di un impianto di aerazione che consente l'adduzione regolata di aria all'interno del reattore attraverso il pavimento ad intercapedine, perforato.

Ogni biocella contiene un discreto quantitativo di materiale, il quale viene caricato attraverso un portellone, successivamente chiuso in maniera ermetica.

Il metodo è, a tutti gli effetti, un sistema statico e, perciò, richiede una accurata preparazione della miscela iniziale, sia in termini di bilanciamento dei nutrienti, sia, soprattutto, in termini di adeguata porosità e resistenza meccanica al compattamento. Già dopo uno stazionamento di 7-12 giorni all'interno delle camere (o biocelle o biocelle o bioreattori), la matrice in trasformazione, avendo perso buona parte della putrescibilità e della tendenza a rilasciare percolato, può essere sistemata in cumuli, all'esterno, dove raggiunge la completa maturazione in ulteriori 8 settimane.

In conclusione, l'intero ciclo di trattamento con il sistema a biocelle richiede un arco temporale di 9 - 10 settimane. Le biocelle, come tutti i sistemi di compostaggio in reattori chiusi, offrono la possibilità sia di controllare le emissioni di odori, mediante il trattamento dell'aria esausta in uscita per mezzo di biofiltri, sia di gestire razionalmente il percolato.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 35 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Nel nostro caso per un migliore controllo degli odori e maggiore sicurezza ambientale i portoni delle biocelle si affacciano su un locale chiuso, posto in leggera depressione, per impedire la fuoriuscita di aria.

4.7.3. La fase di finissaggio

La fase di finissaggio (curing phase), durante la quale il substrato organico stabilizzato diventa compost maturo, è uno stadio critico e troppo spesso trascurato del processo di compostaggio. Questa fase si realizza nell'intervallo mesofilo delle temperature. Il consumo di ossigeno, la generazione di calore e la perdita d'acqua per evaporazione sono fenomeni molto modesti in questo stadio rispetto alla fase di compostaggio attivo (ACT phase).

L'importanza della fase di finissaggio aumenta se lo stadio attivo del processo è stato eccessivamente riaccurciato ovvero mal gestito. Un adeguato periodo di finissaggio permette di superare gli inconvenienti derivanti dall'adozione di sistemi di compostaggio sbagliati e riduce il rischio che possa essere utilizzato un compost non maturo. Un compost non completamente maturo continua a consumare ossigeno e, se somministrato alle colture, può interferire negativamente sulla respirazione delle radici. Il compost immaturo possiede, inoltre, fitotossicità residua imputabile ad alcuni composti (es.: ammoniaca, acidi volatili, ecc.) ancora adsorbiti sulla matrice stabilizzata.

La fase di finissaggio favorisce la completa eliminazione dei fattori transitori della fitotossicità, una ulteriore decomposizione delle sostanze più resistenti all'attacco microbico, una più spinta umificazione, la neutralizzazione della reazione (pH) e un maggior affinamento della tessitura del prodotto. Durante la fase di finissaggio, che l'esperienza suggerisce di prolungare per almeno un mese, devono essere mantenute condizioni aerobiche nel substrato attraverso una adeguata aerazione.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 36 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

6. Dati di progetto

L'impianto avrà una capacità di trattamento stimato di 30.000 t/a di FORSU ed è stato progettato con lo scopo di recuperare materia sotto forma di ammendante utilizzabile in agricoltura dai rifiuti organici provenienti da raccolta differenziata.

Saranno conferite le seguenti tipologie di rifiuti:

- Rifiuti biodegradabili di cucine e mense (cod. CER 20.01.08);
- Rifiuti biodegradabili (cod. CER 20.02.01).

Gli scarti della manutenzione del verde ornamentale pubblico e privato come potature, foglie, sfalci erbosi (cod. CER 20.02.01), saranno utilizzati con una percentuale minima del 25% in peso, in modo da ottenere una adeguata porosità per la biomassa in maturazione.

I dati di progetto relativamente alla quantità e tipologia di rifiuti in ingresso sono sintetizzati nella Tabella 7 mentre nella seguente **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** sono sintetizzati i parametri operativi di funzionamento.

Le operazioni svolte sulle matrici in ingresso sono codificate, secondo l'allegato C alla parte IV del D.lgs. 152/2006, nel modo seguente:

- R3 riciclo/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi;
- R13 messa in riserva

Tabella 7. Quantità e tipologia di rifiuti trattati

Rifiuti trattati	Quantità	P _i (%)	U _i (%)	C/N	Peso specifico
	t/anno				t/m ³
FORSU	21.000	70%	73,80%	12,0	0,75
Strutturante invernale	3.000	10%	31,50%	147,0	0,2
Strutturante estivo	6.000	20%	46,50%	32,5	0,3
TOTALE	30.000	100%	64,11%	29,60	0,605

I dati assunti per il dimensionamento sono stati desunti dalla Relazione Tecnica Illustrativa del Progetto Preliminare predisposto dalla Stazione Appaltante (Tabella 1 di pag.25).

Si evidenzia altresì che, in altri documenti pure redatti dall'Amministrazione, erano riportati quantitativi diversi che però non sono stati presi in considerazione, vuoi perché, ad avviso degli scriventi, il dimensionamento di progetto doveva risultare omogeneo con quello eseguito nel citato preliminare, vuoi perché il rapporto FORSU/strutturante riportato nella citata tabella 1 appare quello ottimale per garantire il corretto processo di compostaggio

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 37 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Tabella 8. Parametri operativi di funzionamento

Parametro operativo	Valore	u.m.
turni giornalieri	1	#
ore di funzionamento giornaliera	6	h/giorno
giorni lavorativi a settimana	6	giorni/sett
settimane annue	52	sett/anno
giorni lavorativi annui	312	giorni/anno
ore di funzionamento annue	1.872	h/anno
Potenzialità a regime		
Peso specifico	0,605	t/m ³
Capacità annua	30.000	t/anno
Capacità giornaliera	96,15	t/giorno
Volume annuo	49.587	m ³ /anno
Volume giornaliero	158,93	m ³ /giorno

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

7. Ciclo di trattamento

Il ciclo di trattamento dell'impianto è sintetizzato nel diagramma di flusso sotto riportato ed è quello minimo necessario per l'ottenimento di un compost rispettoso dei parametri del d.lgs. 217/2006.

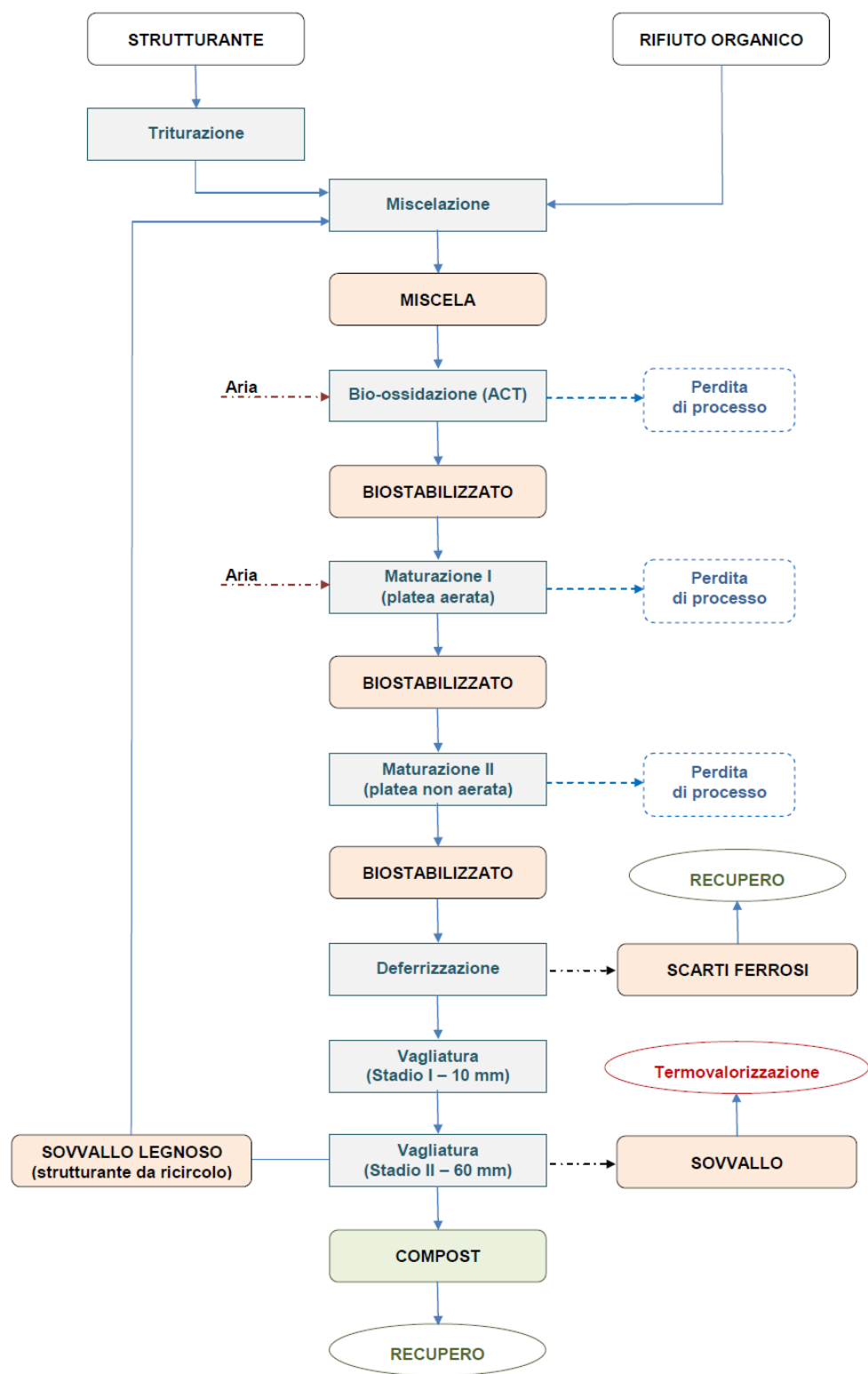
L'impianto è stato dimensionato con un ciclo temporale di $18+4=22$ giorni durante la fase ACT in biotunnel e $30+4 = 34$ giorni per la fase di maturazione primaria in aia aerata e i rimanenti $30+4 = 34$ giorni a maturazione secondaria con rivoltacumuli a monte della raffinazione.

In sintesi, le fasi di trattamento sono le seguenti:

1. ricevimento dei rifiuti organici con preselezione degli scarti;
2. ricevimento dei rifiuti ligneocellulosici con rispettiva triturazione;
3. miscelazione tra scarto umido preselezionato e scarto ligneocellulosico pre-triturato;
4. bio-ossidazione accelerata in Biotunnel;
5. maturazione primaria in platea aerata;
6. maturazione secondaria in cumuli con rivoltamento;
7. vagliatura di raffinazione con deferizzazione del compost;
8. stoccaggio del compost finito;
9. presidi ambientali per il trattamento dell'aria esausta e trattamento percolati.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 39 di 96

SCHEMA DI FLUSSO



Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

8. Dimensionamento

Il corretto dimensionamento delle varie fasi di processo, soprattutto dal punto di vista organizzativo e spaziale, consente il regolare funzionamento dell'impianto senza problemi di "affogamento" dello stesso, è quindi necessario dimensionare con cura tutte le fasi del processo.

8.1. Ricevimento e stoccaggio

Le aree di stoccaggio all'interno dell'impianto devono avere una dimensione tale da poter separare nettamente i materiali in esse presenti, con particolare riferimento ai rifiuti in ingresso, per i quali non vi deve essere commistione tra il materiale strutturante e la matrice organica, che è notevolmente più degradabile e putrescibile.

Per migliorare tale separazione, nel layout dell'impianto sono state introdotte piazzole di stoccaggio e/o accumulo temporaneo delimitate da pareti in cls o da pareti autostabili in cls prefabbricato (cd. new jersey).

Per il dimensionamento delle aie sono state sviluppate le seguenti elaborazioni.

1) Strutturante

Per i materiali strutturanti è prevista un'area di stoccaggio all'interno del capannone, sufficiente per **ca. 3 giorni** di stoccaggio; una riserva per periodi di accumulo più lunghi potrà essere stoccata in una zona appositamente dedicata, da individuare a cura del gestore, adiacente all'area di impianto (ad es. nell'isola ecologica del Comune di Afragola ovvero in uno dei suoli agricoli contermini).

2) Strutturante triturato

Una volta triturato, il materiale sarà depositato temporaneamente in un'area ad esso dedicata all'interno del capannone, delimitata da new-jersey con una capacità complessiva di **10 giorni**, rispetto alla produzione media di triturato.

3) Sovvallo da ricircolo

Si è considerata un'area dedicata anche all'accumulo temporaneo del sovvallo di ricircolo (o strutturante da ricircolo) dimensionata per **12 giorni** utili di accumulo (all'occorrenza, quest'area può essere utilizzata anche per lo strutturante triturato).

4) FORSU

L'area per il deposito temporaneo della matrice organica fresca in ingresso è stata dimensionata per consentire l'accumulo di **5 giorni** lavorativi.

5) Aia di pre-miscelazione

Si è considerato uno spazio utile a mescolare grossolanamente (con l'utilizzo di una pala meccanica) la FORSU e lo Strutturante, prima di effettuare il carico della tramoggia del miscelatore. Tale soluzione consente di dosare correttamente le quantità dei due materiali e di evitare stratificazioni e disomogeneità nella tramoggia.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 41 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

6) Aia accumulo temporaneo della miscela

È stata dimensionata un'area dove accumulare temporaneamente la miscela estratta dal miscelatore, prima di caricarla nelle biocelle. Ciò per semplificare la logistica delle operazioni e la movimentazione del materiale

Per le stime delle volumetrie necessarie, sono stati considerati cumuli a sezione trapezia (Figura 8): il volume di un cumulo è quindi dato dalla relazione:

$$V_c = \frac{h}{a} \cdot \left(a - \frac{h}{\tan(\alpha)} \right)$$

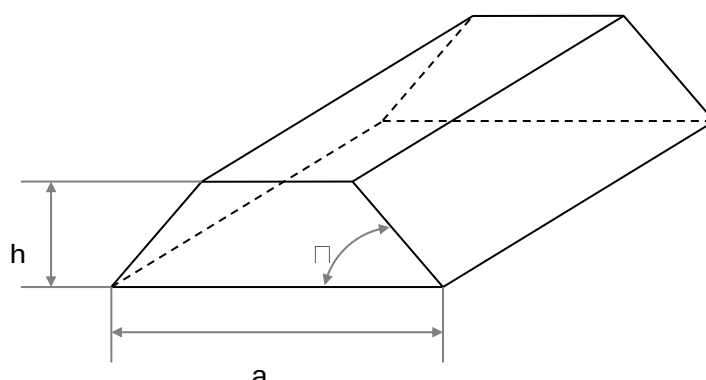


Figura 8 Cumuli a sezione trapezia

Il calcolo delle varie superfici di stoccaggio e/o accumulo temporaneo è sintetizzato di seguito.

Tabella 9. Dimensionamento dei cumuli e delle superfici di stoccaggio e/o accumulo

Dati per il dimensionamento			
quantitativo annuo	Q	30.000	t/anno
quantitativo giornaliero	q	96,15	t/giorno
quantitativo giornaliero FORSU	q _{FORSU}	67,31	t/giorno
quantitativo giornaliero strutturante	q _L	28,85	t/giorno

Stoccaggio strutturante fresco			
peso specifico medio	γ _{str}	0,27	t m ⁻³
giorni utili di stoccaggio	d	2,50	d
quantitativo da stoccare	M _{str}	72,1	t
	V _{str}	270,4	m ³
lunghezza area stoccaggio	L	14,0	m
larghezza area stoccaggio	B	7,5	m
superficie in pianta	S	105,0	m ²

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 42 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

altezza	h_{cum}	3,5	m
angolo scarpata	α	60,0	°
volume utile di un cumulo	V	268,5	m ³
peso di un cumulo	q	72,00	t

Stoccaggio strutturante triturato			
peso specifico medio	γ_{str}	0,40	t m ⁻³
giorni utili di stoccaggio	d	10,00	d
quantitativo da stoccare	M _{str}	288,46	t
	V _{str}	721,2	m ³
lunghezza area stoccaggio	L	12,5	m
larghezza area stoccaggio	B	8,5	m
superficie in pianta	S	106,3	m ²
altezza	h_{cum}	3,5	m
angolo scarpata	α	60,0	°
volume utile di un cumulo	V	283,5	m ³
peso di un cumulo	q	114,00	t

Stoccaggio sovravvallo di ricircolo			
peso specifico medio	γ_{str}	0,40	t m ⁻³
giorni utili di stoccaggio	d	12,00	d
quantitativo da stoccare	M _{str}	38,47	t
	V _{str}	96,2	m ³
lunghezza area stoccaggio	L	12,5	m
larghezza area stoccaggio	B	5,7	m
superficie in pianta	S	71,3	m ²
altezza	h_{cum}	1,6	m
angolo scarpata	α	60,0	°
volume utile di un cumulo	V	95,5	m ³
peso di un cumulo	q	40,00	t

Stoccaggio FORSU			
peso specifico medio	γ_{FORSU}	0,75	t m ⁻³
giorni utili di stoccaggio	d	5,00	giorni
quantitativo da stoccare	M _{FORSU}	336,54	t

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 43 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

	V_{FORSU}	448,7	m^3
lunghezza area stoccaggio	L	12,5	m
larghezza area stoccaggio	B	12,5	m
superficie in pianta	S	78,1	m^2
altezza	h_{cum}	2,5	m
angolo scarpata	α	60,0	°
volume utile di un cumulo	V	345,5	m^3
peso di un cumulo	q	259,14	t

Zona di carico miscela			
peso specifico strutturante	γ_{str}	0,40	t m^{-3}
peso specifico FORSU	γ_{FORSU}	0,75	t m^{-3}
giorni utili	d	1,00	d
quantitativo strutturante	M_{str}	28,85	t
	V_{str}	72,1	m^3
quantitativo FORSU	M_{FORSU}	67,31	t
	V_{FORSU}	89,7	m^3
quantitativo PRE-MISCELATO	$M_{\text{MIX-1}}$	96,15	t
	$V_{\text{MIX-1}}$	161,9	m^3
lunghezza area stoccaggio	L	10,0	m
larghezza area stoccaggio	B	10,0	m
superficie in pianta	S	100,0	m^2
altezza	h_{cum}	1,6	m
angolo scarpata	α	60,0	°
volume utile di un cumulo	V	145,2	m^3
peso di un cumulo	q	86,27	t

Stoccaggio miscela			
peso specifico medio	$\gamma_{\text{MIX-2}}$	0,61	t m^{-3}
giorni utili di stoccaggio	d	1,00	d
quantitativo da stoccare	$M_{\text{mix-2}}$	96,15	t
lunghezza area stoccaggio	L	11,00	m
larghezza area stoccaggio	B	12,00	m
superficie in pianta	S	66,0	m^2
altezza	h_{cum}	1,6	m
angolo scarpata	α	60,0	°

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 44 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

volume utile di un cumulo	V	194,9	m ³
peso di un cumulo	q	117,94	t

Si evidenzia che lo spazio interno per il deposito temporaneo del materiale strutturante potrà essere integrato, in base alle necessità gestionali, utilizzando aree disponibili all'esterno del sedime dell'impianto.

8.2. Miscelazione F.O.R.S.U. e scarti legnosi triturati

La miscelazione tra residui umidi e scarti strutturanti legnosi avverrà, come sopra descritto, all'interno del capannone in depressione. La frequenza di miscelazione dovrà essere commisurata alla frequenza di conferimento della F.O.R.S.U. all'impianto. La miscelazione dovrà essere eseguita quotidianamente o, al massimo, ogni due giorni, per limitare i fenomeni di putrescenza della FORSU conferita e in modo da contenere al massimo le emissioni maleodoranti.

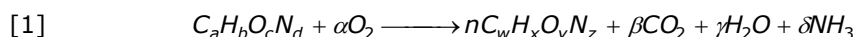
Il miscelatore a servizio dell'impianto sarà del tipo a coclee distanziate che, oltre alla funzione di miscelare il rifiuto, svolgerà anche una blanda sfibratura e l'apertura dei sacchetti di Mater-Bi o di plastica nei quali, generalmente, viene conferita la F.O.R.S.U..

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

8.3. Dimensionamento della fase di Compostaggio Attivo (ACT)

8.3.1. Formula bruta della matrice compostabile

L'equazione stechiometrica che rappresenta il processo di trasformazione aerobica per via biologica è la seguente:



in cui:

- $C_a H_b O_c N_d$ rappresenta la composizione della sostanza organica presente inizialmente nel rifiuto;
- $C_w H_x O_y N_z$ rappresenta la composizione della sostanza organica residua;
- n rappresenta il quantitativo di compost, ricavabile dal rapporto tra il numero di moli della sostanza organica residua e il numero di moli della sostanza organica presente inizialmente nel rifiuto;
- α , β , γ e δ sono coefficienti stechiometrici ricavabili dal sistema di equazioni:

$$\alpha = 0,5 \left\{ n\gamma + 2(a - nw) + 0,5 \left[b - nx - 3 \left(d - nz \right) \right] - c \right\}$$

$$\beta = a - nw$$

$$\gamma = 0,5 [b - nx - 3(d - nz)]$$

$$\delta = (d - nz)$$

La composizione bruta della sostanza organica di partenza può essere ricavata dalla *ultimate analysis* della matrice compostabile assunta a base della presente progettazione e riportata in precedenza.

Sulla base dei dati assunti, infatti, si può inizialmente calcolare la quantità di sostanza secca per tonnellata di matrice compostabile e, conseguentemente, anche la frazione di solidi volatili, SSV.

Noti i pesi molecolari dei singoli elementi, si può dunque calcolare il numero di moli di carbonio, ossigeno, idrogeno ed azoto contenute nel rifiuto dalla relazione:

$$[2] \quad n_i = \frac{p_i}{AW_i}$$

dove:

- n_i = kmoli dell'elemento i-esimo;
- p_i = peso secco dell'elemento i-esimo;
- AW_i = peso atomico dell'elemento i-esimo

Per convenzione, infine, la formula bruta viene normalizzata rispetto all'azoto.

Si ottengono le elaborazioni riportate nella seguente tabella.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 46 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Tabella 10. Composizione della matrice compostabile

Componente	Q.tà annuale	P _i (%)	U _i (%)	C/N
	t/anno			
FORSU	21.000	70,0	73,8%	11,17
Strutturante invernale	3.000	10,0	31,5%	147,00
Strutturante estivo	6.000	20,0	46,5%	32,51
TOTALE	30.000	100	64,1%	29,02

Componente	composizione elementare (dry mass wt.%)						C/N	peso specifico
	C	H	O	N	S	ceneri		kg m ⁻³
FORSU	49,5	5,8	35,0	4,4	0,2	5,1	11,17	750
Strutturante invernale	44,1	6,0	41,4	0,3	0,3	7,9	147,00	200
Strutturante estivo	30,3	5,2	33,4	0,9	0,3	29,9	32,51	300
TOTALE	45,1	5,7	35,3	3,3	0,2	10,3	29,02	605,0

Componente	peso secco	peso secco (ton / anno)					SSV
	kg/t	C	H	O	N	Totale	
FORSU	183	90,7	10,6	64,2	8,1	173,7	0,947
Strutturante invernale	69	30,2	4,1	28,4	0,2	62,9	0,918
Strutturante estivo	107	32,4	5,6	35,7	1,0	74,7	0,698
TOTALE	359	153	20	128	9	311	0,854

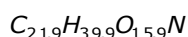
Tabella 11. Valutazione della formula bruta della matrice compostabile

Valutazione dei pesi molecolari				
elemento	C	H	O	N
peso molecolare elemento	12	1	16	14
kmoli di ogni elemento	12,78	20,31	8,02	0,67
coefficienti formula chimica sostanza organica	a	b	c	d
	19,2	30,5	12,0	1,0
peso molecolare sostanza organica MW _s 467,2				

File 1137-D-0-RT-02 0	Doc. RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 47 di 96
--------------------------	--	-----------------

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

In conclusione la formula bruta del substrato organico risulta essere la seguente:



ed il peso molecolare:

$$[3] \quad MW_S = \frac{\sum_i n_i \cdot AW_i}{\sum_i n_i} = 467,2$$

1.2.1 Composizione del compost prodotto

La valutazione della composizione del compost (intermedio grezzo) prodotto dalla fase di bio-ossidazione non può che essere approssimativa, in quanto l'effettiva composizione del substrato (in termini di carboidrati, proteine, lipidi, etc.) non può essere definita e, conseguentemente non possono essere considerate le reazioni di idrolisi e fermentazione che determinano la degradazione della sostanza organica.

L'aspetto essenziale del problema è, dal punto di vista della qualità del compost prodotto, la variazione del rapporto C/N.

E' infatti noto che il valore di tale rapporto per il prodotto finale del processo deve rimanere nell'intervallo 13 ÷ 15 su base ponderale (15 ÷ 18 su base molare).

Con riferimento al contenuto in azoto e al rapporto C/N, la letteratura scientifica riporta l'osservazione di una concentrazione progressiva della biomassa in azoto, dovuta alla degradazione della sostanza organica. Pertanto tale variazione è funzione del tempo di processo.

Ancor più interessante risulta l'evoluzione del rapporto C/N, ottenendosi a fine processo valori molto bassi (C/N 13.52). La relativa concentrazione di azoto e il conseguente abbassamento del rapporto C/N si accompagnano a un incremento relativo dei composti aromatici. È verosimile pensare perciò a un arricchimento della frazione aromatica in azoto.

Quanto suggerito trova conferma sia nel dato del rapporto C/N a fine processo, che si pone nell'ordine di grandezza del C/N rilevabile per le sostanze umiche, sia nella letteratura.

In base ai risultati ottenuti in prove di incubazione di residui lignocellulosici (paglia) in suoli, Amalfitano *et al.* (1992), sostengono la tesi per cui le sostanze umiche derivino dalla lignina in seguito a rimozione di carboidrati, demetilazioni e ossidazione di strutture catecoliche a dare O-chinoni, responsabili dell'addizione nucleofila di composti amminici.

Zaccheo e Crippa (1992), indagando circa la ripartizione dell'azoto nelle frazioni solubili (acidi umici) e insolubili (umina) in soluzioni alcaline diluite di un compost vegetale (mais), osservavano lo spostamento di azoto semplice (proteico) nelle frazioni più complesse, dopo circa 90 giorni di compostaggio.

Montoneri *et al.* (1995) studiando l'umina purificata di un processo di compostaggio di lunga durata, a mezzo di spettroscopia NMR, IR e analisi elementare, mettevano in luce un suo arricchimento in amminoacidi e/o amminozuccheri in seguito alla formazione di legami con la frazione aromatica.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 48 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

La disponibilità di azoto perciò, risulterebbe fondamentale per la formazione di strutture aromatiche polimeriche a elevato peso molecolare, fornendo un substrato idoneo a legare monomeri aromatici (Maggioni e Ferrari, 1980).

Quindi, anche se in tal senso non si hanno verifiche sperimentali (determinazione del contenuto di azoto eterociclico) è logico supporre nella biomassa compostata la presenza di azoto strettamente associato a molecole aromatiche e, quale conseguenza, la presenza di azoto stabile.

La progressiva variazione del rapporto C/N può essere descritta, in prima approssimazione, attraverso una cinetica del primo ordine:

$$[4] \quad C/N(\theta) = C/N(0) \cdot e^{(-k_d \cdot \theta)}$$

in cui:

- $C/N(\theta)$ = valore del rapporto C/N al tempo θ ;
- $C/N(0)$ = valore del rapporto C/N al tempo 0;
- k_d = costante di riduzione del rapporto C/N

Da un esame della letteratura scientifica, appare evidente come il parametro k_d sia esso stesso funzione del rapporto C/N.

Un modello sviluppato dall'ing. Paolo Viparelli, sulla base di numerosi dati ricavati dalla letteratura scientifica di settore, correla il valore di k_d al valore C/N(0).

La relazione sviluppata è la seguente:

$$[5] \quad k_d = a \cdot e^{\left(-0,5 \cdot \frac{\ln\left(\frac{C/N(0)}{x_0}\right)}{b} \right)}$$

dove:

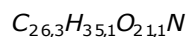
- $a = 0,018$;
- $b = 0,464$;
- $x_0 = 18,328$

sono parametri aggiustabili ottenuti dalla regressione dei dati sperimentali riportati in letteratura.

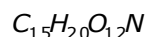
Fissato il valore del tempo di processo:

$$\theta = 18 \text{ d}$$

si può dunque ricavare la formula bruta del compost ottenuto, che risulta:



Tale composizione si discosta leggermente da quella ottimale:



che potrà essere raggiunta durante la fase di maturazione.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 49 di 96

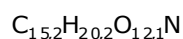
Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

In letteratura, infatti, si evidenzia che la maggior parte delle perdite di azoto (come azoto ammoniacale evoluto) si osserva nei primi 8-10 giorni di processo.

Si assiste ad ulteriori perdite di azoto nei periodi successivi, dopo una fase in cui le perdite di azoto sostanzialmente si arrestano (8°-18° giorno), e fino al 56°-60° giorno. Dopo tale periodo le perdite si fermano (i valori oscillano attorno al 18-21%).

A questo punto, infatti, si ha un rallentamento, se non un totale arresto, dei processi degradativi, confermando il raggiungimento della stabilità biologica.

Al termine della fase di maturazione, considerando un'età media del compost pari a 76 giorni, si avrà dunque la seguente composizione finale:



File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 50 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

8.4. Dimensionamento delle biocelle

Il dimensionamento delle biocelle è stato basato su due vincoli principali:

1. garantire un'età media del compost nella fase di bio-ossidazione accelerata (ACT) non inferiore a 18 d (considerata la durata delle fasi di carico si ha una durata effettiva del ciclo pari a 22 g per ciascuna biocella);
2. garantire una continuità di trattamento, in modo da evitare accumuli della F.O.R.S.U. che, come ripetutamente sottolineato, va soggetta a rapidi fenomeni di putrescenza.

Nella 12 sono sintetizzati i parametri per il calcolo del numero di tunnel necessari al trattamento delle quantità di progetto considerando che le dimensioni interne sono 30 x 6,5 m e che l'altezza media del cumulo all'interno degli stessi è di 3,0 m.

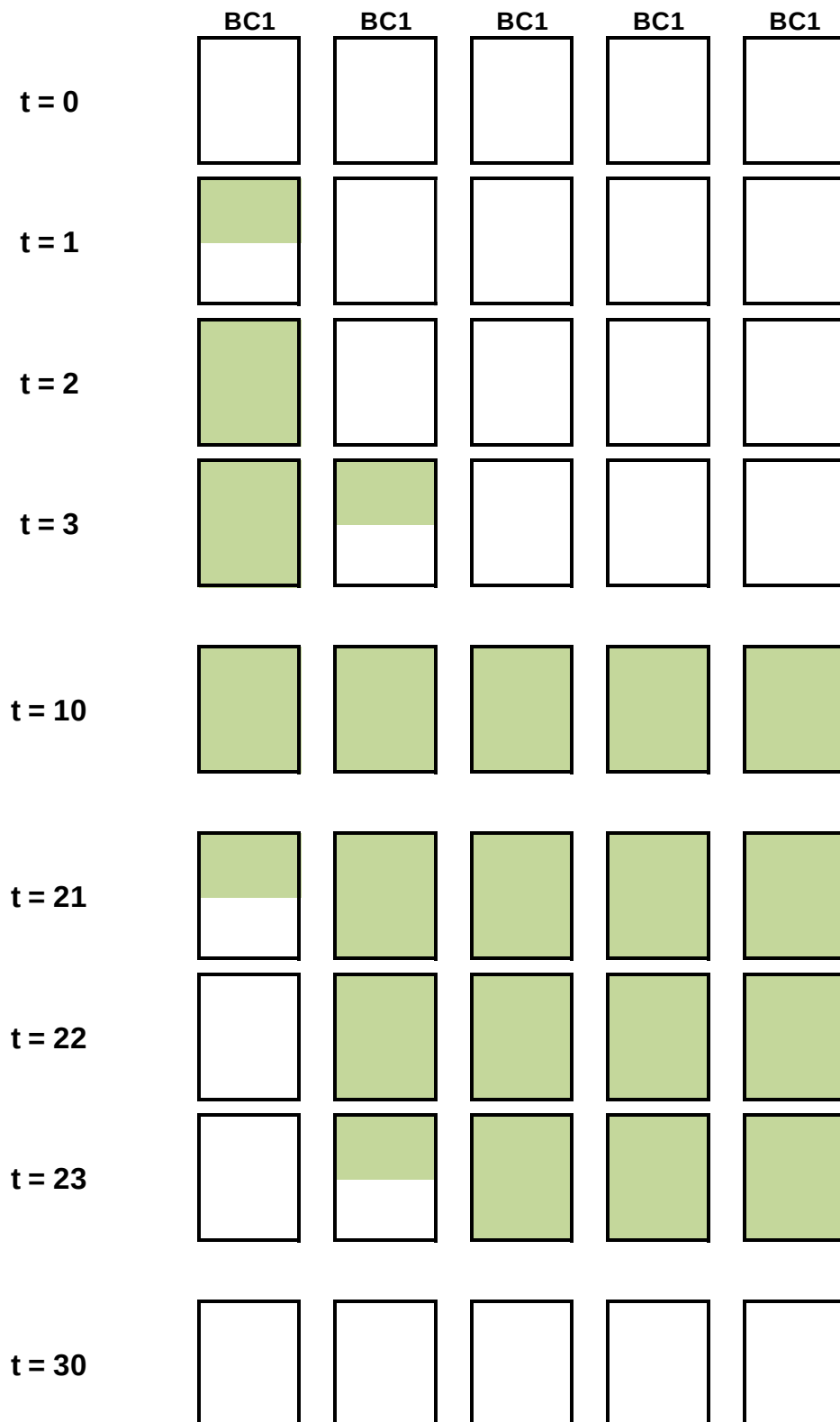
Tabella 12. Dimensionamento delle biocelle

DATI ASSUNTI PER IL DIMENSIONAMENTO			
frazione del materiale da avviare ad ACT	η	1,00	
frazione vagliata	$\square$	0,0	
potenzialità annua	Q	30.000	t /anno
peso specifico miscela	γ_{mix}	0,605	t /m ³

BIOCELLE			
lunghezza utile di una biocella	L	30,0	m
larghezza di una biocella	B	6,5	m
superficie di una biocella	S	195,0	m ²
altezza di strato miscela nelle biocelle	h_{mix-2}	3,00	m
volume utile di una biocella	V	585,0	m ³
peso specifico miscela	γ_{MIX-2}	0,605	t /m ³
miscela utile in una biocella	q	353,93	t
tempo totale di un ciclo	θ	18,0	d
tempo morto di carico e scarico	t_{cs}	4,0	d
tempo totale di un ciclo	t_{TOT}	22	d
cariche fattibili per anno	n_{car}	17	
quantitativo annuo trattabile da una biocella	Q_i	6017	t /anno
numero di biocelle	n	5,00	

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 51 di 96

Nello schema che segue si illustra la possibile distribuzione dei tempi di permanenza del materiale all'interno delle biocelle; come detto, il tempo di permanenza minimo è pari a 18 giorni. Considerate le fasi di carico e scarico, il tempo complessivo di un ciclo, ovvero il tempo massimo di permanenza di alcune frazioni nella biocella, sarà pari a 22 giorni.



Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Tabella 13. Riepilogo dati di dimensionamento biocelle

Parametro	u.m.	Valore
durata ciclo	giorni lavorativi	18
durata effettiva ciclo	giorni totali	22
quantità ciclo	t /ciclo	2.115,38
quantità giorno	t /giorno effettivo	96,15
peso per unità di volume	t /m ³	0,61
volume ciclo	m ³ /ciclo	3.496,50
volume giornaliero	m ³ /giorno	158,93
volume annuo ACT	m ³ /anno	49.586,78
peso annuo ACT	t /anno	30.000,00
altezza cumulo	m	3,0
lunghezza interna	m	30,00
larghezza interna	m	6,50
volume tunnel	m ³	585,0
superficie aerata	m ²	195
n. tunnel	-	5,00
giorni di caricamento	giorno	4,0

L'impianto di compostaggio sarà comandato e gestito da un sistema controllato da PLC.

Durante il ricircolo del percolato, nelle fasi di degradazione aerobica accelerata e di maturazione sarà possibile regolare diversi parametri di processo in relazione ai singoli biotunnel.

La sorveglianza continua dei parametri di controllo permetterà di ottenere una ottimizzazione continua del processo stesso e quindi una prestazione massima per quanto riguarda la degradazione aerobica.

In particolare, saranno monitorati la temperatura, l'umidità e la concentrazione di ossigeno in modo da mantenerli sempre in un range ottimale.

Soprattutto la temperatura sarà monitorata in modo da garantire il superamento dei 65°C per almeno tre giorni in modo da avere l'igienizzazione del prodotto finale così come imposto dalla normativa di settore dei fertilizzanti.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 53 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

8.5. Cinetica del processo di compostaggio

8.5.1. Determinazione dell'ordine di reazione nei processi di compostaggio

Il processo di compostaggio può essere considerato a tutti gli effetti una reazione chimica (biochimica) influenzata da numerosi parametri, chimici, fisici e biologici che ne determinano le diverse velocità.

Al fine di facilitare la comprensione dei calcoli di dimensionamento effettuati è necessario introdurre alcuni concetti.

8.5.2. Equilibrium mass

Keener *et al.* (1993) hanno introdotto il concetto di *equilibrium mass* (m_e) che rappresenta la frazione di sostanza secca che rimane dopo un tempo sufficientemente lungo di reazione (compostaggio di 6-12 mesi).

La definizione di m_e risiede nel fatto che, anche se potenzialmente tutto il substrato organico di una biomassa è degradabile, in effetti, nei tempi previsti dal compostaggio, solo una parte di questi effettivamente si degrada.

Il rapporto m_e/m_0 (m_0 = massa al tempo $\theta = 0$) è chiamato β (Keener *et al.*, 1992) e rappresenta la frazione di sostanza secca che rimane dopo un lungo periodo di processo (6-12 mesi).

L' *equilibrium mass* può essere anche determinato considerando ogni singola frazione costituente la biomassa (per esempio cellulosa, emicellulosa, lignina ecc.). In particolare:

$$[6] \quad m_e = \sum_j m_{ej}$$

dove j rappresenta la frazione j-esima di m_e .

8.5.3. Ordine di reazione nei processi di compostaggio

Tipicamente i processi di compostaggio identificano reazioni di ordine primo, secondo e terzo. Nella presente progettazione si è ritenuto sufficiente utilizzare un modello cinetico con reazioni del primo ordine.

Tale modello cinetico può essere espresso con la relazione:

$$[7] \quad \frac{dm}{d\theta} = -k \cdot (m - m_e) \quad (\text{Keener et al. 1993})$$

da cui si ottiene:

$$[8] \quad k = \frac{1}{\theta} \cdot \ln \left(\frac{m_0 - m_e}{m - m_e} \right)$$

k ha le dimensioni di una frequenza ed m_0 rappresenta la massa al tempo iniziale.

Nella seguente tabella si riportano i valori caratteristici delle costanti cinetiche per diverse matrici organiche.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 54 di 96

Tabella 14. Valori di β , k, k (1- β) per diverse matrici organiche (Genevini et al., 1997).

Biomassa	β	k	k (1- β)
fanghi primari	0.45	0.025	0.014
paglia	0.35	0.069	0.045
foglie di acero	0.12	0.015	0.013
foglie di quercia	0.36	0.009	0.006
pollina + residui del mais	0.25	0.048	0.036
erba+arbusti+foglie (20:51:29)	0.61	0.190	0.074
erba+arbusti+foglie (47:38:12)	0.46	0.167	0.090
erba+arbusti+foglie (50:38:12)	0.40	0.179	0.107
lolla di riso + liquame bovino	0.45	0.028	0.015

In linea generale, si è osservato che la fase attiva è meglio rappresentata da una cinetica di primo ordine, ovvero dipende da un solo reattivo. In tale fase perciò è possibile considerare la frazione biodegradabile, anche se caratterizzata da una sua complessità molecolare, come una molecola omogenea.

L'ordine di reazione ci dice che la velocità di reazione dipende dalla concentrazione del substrato e che questa diminuisce man mano che il substrato è consumato.

Sia la *curing phase* che la totalità del processo sono meglio rappresentati da una reazione di secondo ordine. Anche in questo caso la reazione è substrato-dipendente con la differenza che, sempre considerando il substrato quale molecola omogenea, si ha variazione di s in ragione del quadrato della sua concentrazione.

Ciò è palese se si considera come durante la *curing phase* la maggior parte del substrato sia già stata degradata e perciò la reazione deve coinvolgere più molecole per dare i medesimi prodotti della fase attiva.

Secondo Haug (1993), la costante cinetica di degradazione k è ottenuta dal prodotto di svariati fattori che dipendono dai parametri di processo e, in particolare, da:

- temperatura;
- pressione parziale di ossigeno;
- grado di vuoto (free air space) della massa in compostaggio;
- tenore di umidità.

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

In sintesi, si ha:

$$[9] \quad k_d = k_T \cdot k_m \cdot k_{FAS} \cdot k_{O_2}$$

dove:

$$[10] \quad k_T = k_0 \cdot [C_1^{(T-TR1)} - C_2^{(T-TR2)}]$$

è il fattore di correzione per la temperatura, in cui k_0 è la costante di degradazione ideale ottenuta attraverso studi respirometrici, $TR1 = 20^\circ\text{C}$ e $TR2 = 60^\circ\text{C}$ sono temperature di riferimento, C_1 e C_2 sono costanti empiriche;

$$[11] \quad k_m = \frac{1}{e^{(-17,64(1-U)+7,062)} + 1}$$

è il fattore di correzione che tiene conto del tenore di umidità, U ;

$$[12] \quad k_{FAS} = \frac{1}{1 + e^{(-23,675FAS+3,4945)}}$$

è il fattore di correzione che tiene conto del grado di vuoto del sistema;

$$[13] \quad k_{O_2} = \frac{y_{O_2}}{y_{O_2} + 2}$$

è il fattore di correzione che tiene conto della percentuale volumetrica di ossigeno nel bio-reattore, y_{O_2} (naturalmente, tale fattore può essere espresso anche in funzione della pressione parziale di ossigeno).

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 56 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

8.5.4. Cinetica assunta per la progettazione

Nella seguente tabella si riportano i risultati delle elaborazioni condotte, utilizzando il modello sopra descritto, nel caso specifico in esame.

I dati sono calcolati per tonnellata di matrice compostabile.

Tabella 15. Cinetica di degradazione

CINETICA DI DEGRADAZIONE					
solidi volatili totali	m_0	311,3	kg		
frazione di solidi volatili non degradabili	β	0,450			
solidi volatili degradabili	SVB	171,21	kg		
solidi volatili non degradabili	SVNB	140,08	kg		
costante C_1	C_1	1,030			
costante C_2	C_2	1,133			
temperatura di riferimento TR1	TR1	20,00	°C		
temperatura di riferimento TR2	TR2	60,00	°C		
temperatura di esercizio	T	55	°C		
costante cinetica di degradazione SV a 20°C	k_{dr1}	0,01109	d ⁻¹		
fattore di correzione per la temperatura	k_T	2,28			
moisture fraction	y	0,64			
fattore di correzione per l'umidità	k_m	0,32			
grado di vuoto	FAS	0,30			
fattore di correzione per il grado di vuoto	k_{FAS}	0,974			
percentuale di O₂ nel reattore	%O	18,06	%		
fattore di correzione per O ₂	k_{O2}	0,90			
costante cinetica di degradazione SV	k	0,022	d⁻¹		
percentuale compost / sostanza organica	m/m ₀	81,92%			
quantitativo compost	m	255,0	kg		
kmoli sostanza organica	n ₀	0,666	kmoli		
kmoli compost	n	0,402	kmoli		
coefficienti stechiometrici	n	a	b	g	d
	0,60	7,12	4,86	5,10	0,40

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Il risultato di tali elaborazioni è la stima dei coefficienti stechiometrici della reazione [1].

Si può osservare che le principali assunzioni fatte sono, oltre alla *ultimate analysis* ed al tenore di solidi volatili (che discende anch'esso dalle ipotesi fatte in relazione alla *ultimate analysis*):

- la temperatura di esercizio, assunta pari a 55°C;
- il tenore di umidità medio, assunto pari al 64%;
- il grado di vuoto, assunto pari al 30%;
- la costante di degradazione a 20°C, temperatura di riferimento, assunta pari a 0.011 d⁻¹, in coerenza con i dati di letteratura indicati nella tabella 17;
- il valore β , assunto pari a 0.45, che, in ultima analisi, individua la frazione di solidi non biodegradabili della sostanza organica in ingresso.

Per ciò che concerne il tenore di ossigeno, esso è stato calcolato dal bilancio di materia sull'ossigeno, con l'ipotesi cautelativa che il consumo di ossigeno durante tutta la fase ACT sia pari a quello massimo, ovvero a quello che si ha quando alla massima velocità di degradazione, ottenuta dalla relazione [8], assumendo $m = m_0$.

E' evidente che si tratta di una ipotesi cautelativa in quanto, man mano che il fenomeno degradativo avanza, diminuendo la quantità di substrato degradabile, m , dalla [8] si evince come diminuisca la forza spingente del fenomeno e, conseguentemente, il consumo di ossigeno.

Il bilancio di materia sull'ossigeno è espresso dalla relazione:

$$[14] \quad 0,2314 \cdot Q_{aria} = O_2^{in} = O_2^{out} + \alpha \cdot \frac{AW_{O_2}}{MW_S} \cdot \frac{dm}{d\theta}$$

avendo considerato pari al 23.14% la percentuale di ossigeno nell'aria in ingresso al bireattore, la cui portata è Q_{aria} ; α è il coefficiente stechiometrico dell'ossigeno nella reazione [1].

8.5.5. Determinazione della portata d'aria necessaria al processo

8.5.5.1. Calcolo dell'aria stechiometrica

Il calcolo dell'aria stechiometrica necessaria per il processo risulta dal bilancio sull'ossigeno effettuato nei paragrafi precedenti.

Sono state effettuate le elaborazioni riportate nella seguente tabella, in cui è stato anche verificato il bilancio di materia complessivo risultante dalle ipotesi cinetiche e calcolative illustrate in precedenza.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 58 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Tabella 16. Calcolo dell'aria stechiometrica

kg di O ₂ per 1 kmole	227,9	kg
kg di O ₂ per tonnellata di rifiuto	151,8	kg
kg di O ₂ totali	4.554.711,6	kg/anno
	519,9	kg/h
consumo specifico di O ₂	0,42	kg _{O2} /kg _{secco}
volume di aria secca (condizioni standard)	1,52	m ³ _{aria} /kg _{secco}
	1867,6	m ³ _{aria} /h

Tabella 17. Bilancio di materia stechiometrico

sostanza organica secca soggetta a trasformazione	311,3	kg
solidi inerti	47,6	kg
ossigeno necessario al processo	151,8	kg
Totale in ingresso	510,7	kg
sostanza organica residua (compost)	255,0	kg
solidi inerti	47,6	kg
anidride carbonica	142,5	kg
acqua	61,2	kg
ammoniaca	4,5	kg
Totale in uscita	510,7	kg

In effetti, però, l'aria da insufflare nel sistema è funzione, più che della cinetica di degradazione, delle necessità relative all'allontanamento dell'umidità e di quelle relative al controllo della temperatura.

Tali aspetti saranno quindi affrontati nei paragrafi successivi.

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

8.5.5.2. Aria per il controllo dell'umidità

Ai fini del calcolo della quantità necessaria per ottenere il desiderato tenore di umidità nel compost in fase di ossidazione ed in quello in uscita dalle biocelle, sono state fatte le seguenti assunzioni:

- massimo tenore di umidità ammesso nella biocella ed in uscita: 55%;
- umidità relativa dell'aria in ingresso alla biocella: 64%;
- grado di saturazione dell'aria estratta dal compost: 100%.

A tal proposito si deve infatti ricordare che l'aria insufflata viene parzialmente estratta dall'interno del capannone e parzialmente ricircolata dalle stesse biocelle. Di qui le valutazioni effettuate sul tenore di umidità.

Per la descrizione dettagliata del sistema di insufflazione si rimanda alla Relazione Specialistica inerente l'insufflazione, l'aspirazione ed il trattamento dell'aria.

Si è inoltre ipotizzato, sulla base delle cinetiche di degradazione che sono state descritte in precedenza:

- percentuale di solidi volatili (SV) rispetto ai solidi totali (ST) = 87%;
- percentuale di solidi volatili biodegradabili (SVB) rispetto ai solidi volatili SV = 55%;
- efficienza del processo di conversione di SVB > 32,9%.

Con queste premesse, sono stati sviluppati i calcoli richiamati nella seguente Tabella 18.

Tabella 18. Calcolo dell'aria necessaria per il controllo dell'umidità

Massima umidità consentita nel compost	$U_{\text{compost,max}}$	55,00%	
Dati di progetto			
Percentuale SV/ST	%SV	87%	
Percentuale SVB/SV	%SVB	55%	
efficienza del processo di conversione di SVB	h_{SVB}	32,9%	
contentuto di O ₂ nell'aria (condizioni standard)	y_{O_2}	0,2314	
peso specifico dell'aria in condizioni standard	ρ_{aria}	1,2	kg m ⁻³
temperatura esterna	T_{est}	20	°C
umidità relativa aria in ingresso	U_{in}	70%	
pressione totale	P	760	mm Hg
temperatura aria estratta dal compost	T	55,00	°C
grado di saturazione aria estratta dal compost	U_{out}	100%	
peso molecolare acqua	$MW_{\text{H}_2\text{O}}$	18	
peso molecolare aria	MW_{aria}	28,96	

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 60 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Elaborazioni			
percentuale solidi volatili contenuti nel compost	%SV _{compost}	84,3%	
percentuale di secco in ingresso	%Secco _i	39,5%	
percentuale di secco in uscita	%Secco _u	45,0%	
peso di secco in uscita per kg secco in ingresso	W _{secco,u}	0,710	kg _{secco,u} /kg _{secco,i}
acqua eliminata dai solidi per kg di secco	W _{H2O}	0,66	kg _{H2O} / kg _{secco}
tensione di vapore dell'acqua insufflata	P _{vs,i}	18,27	mm Hg
tensione di vapore dell'acqua estratta	P _{vs,u}	119,11	mm Hg
pressione parziale del vapor d'acqua nell'aria insufflata	p _{H2O,i}	12,79	mm Hg
pressione parziale del vapor d'acqua nell'aria estratta	p _{H2O,u}	119,11	mm Hg
umidità specifica aria insufflata, w _i	u _i	0,0106	kg H ₂ O / kg aria secca
umidità specifica aria estratta	u _e	0,1155	kg H ₂ O / kg aria secca
umidità netta rimossa	U _{rim}	0,1049	kg H ₂ O / kg aria secca
quantità di aria secca necessaria per kg di secco	W' _{aria}	6,32	kg aria secca / kg secco

8.5.5.3. Aria per il controllo della temperatura

L'insufflazione dell'aria è necessaria anche per il controllo della temperatura del processo, che, come detto in precedenza, non dovrà superare i 60°C e, di media, dovrà essere pari a 55°C.

Come sarà ulteriormente dettagliato nel seguito, la misura della temperatura, attraverso idonee sonde inserite nel corpo del compost in ACT, consentirà il controllo del processo effettuato, appunto, attraverso la regolazione della portata d'aria insufflata, a sua volta consentita dall'installazione di inverter dedicati ai ventilatori di insufflazione.

Per la valutazione della portata d'aria necessaria (nella fase di massimo sviluppo della reazione esotermica di degradazione, che si verifica, come accennato in precedenza, a cavallo del 2° - 5° giorno di permanenza del materiale nella biocella), oltre a tutti i dati già considerati in precedenza, si è ulteriormente ipotizzato:

- temperatura dell'aria ambiente: 20°C;
- temperatura dell'aria estratta dal compost = 55°C;
- calore di vaporizzazione dell'acqua in condizioni standard = 138.8 kJ kg⁻¹;
- calore specifico dell'acqua = 0.105 kJ kg⁻¹ °C⁻¹;
- peso specifico dell'aria in condizioni standard = 1.2 kg m⁻³.

Con tali ipotesi si ricavano i valori riportati nella seguente Tabella 19.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 61 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

File 1137-D-0-RT-02 0	Doc. RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 62 di 96
--------------------------	--	-----------------

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Tabella 19. Calcolo dell'aria necessaria per il controllo della temperatura

calore vaporizzazione acqua rimossa	C_{vap}	14,6	$\text{kJ kg}_{rif}^{-1} \text{kg}_{aria}^{-1}$
calore necessario a riscaldare l'acqua in uscita	C_{ris}	0,4	$\text{kJ kg}_{rif}^{-1} \text{kg}_{aria}^{-1}$
calore necessario a riscaldare l'aria secca	$C_{ris,aria}$	2,0	$\text{kJ kg}_{rif}^{-1} \text{kg}_{aria}^{-1}$
calore totale per kg di aria secca	C_{tot}	17,0	$\text{kJ kg}_{rif}^{-1} \text{kg}_{aria}^{-1}$
frazione secco sul totale	X_{secco}	0,36	
Calore prodotto dal processo di compostaggio	C_{reaz}	329,0	
Quantità di aria secca necessaria per il controllo di T	W''_{aria}	7,0	$\text{kg aria secca / kg secco}$

8.5.5.4. Determinazione della portata d'aria necessaria al processo

Eseguendo una serie di iterazioni del calcolo, si ottiene la seguente valutazione dell'aria complessivamente necessaria al processo.

Tabella 20. Aria necessaria al processo

Quantità d'aria effettiva	W_{aria}	7,0	$\text{kg aria secca / kg secco}$
portata di aria secca	Q_{aria}	5,80	$\text{m}^3 \text{ aria secca / kg secco}$
portata di aria secca per SV	W_{aria}/SV	6,68	$\text{m}^3 \text{ aria secca / kg SV}$
Fabbisogno d'aria	F_{aria}	6,24E+07	$\text{m}^3 \text{ aria secca / anno}$
Portata oraria		7.124,8	m^3/h

Il calcolo della concentrazione di ossigeno nell'aria estratta dalla biocella è stato eseguito come riportato nella seguente tabella, mandando a convergenza la serie di iterazioni tramite il confronto tra la concentrazione di ossigeno assunta per il calcolo cinetico e quella ottenuta dal bilancio di materia.

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Tabella 21. Calcolo della concentrazione di ossigeno in uscita

Pressione aria	P_{air}	1	atm
Temperatura aria in ingresso	$T_{aria,i}$	20	°C
Tensione di vapore acqua	P_{vsi}	0,35	atm
Portata volumetrica aria secca	Q_{aria}	7,12E+06	l/h
Portata massica aria	M_{aria}	5,60E+06	g/h
Frazione ponderale O ₂ in ingresso	y_{O2}	0,2314	
Ossigeno in ingresso	O_{2in}	1,30E+06	g/h
Azoto in ingresso	N_{2in}	4,27E+06	g/h
CO₂ in ingresso	CO_{2in}	2804,15	g/h
Acqua in ingresso	H_{2Oin}	59535,27	g/h
Ossigeno in uscita	O_{2out}	1,29E+06	g/h
Azoto in uscita	N_{2out}	4,27E+06	g/h
NH₃ in uscita	NH_{3out}	73,31	g/h
CO₂ in uscita	CO_{2out}	2323,50	g/h
Acqua in uscita	H_{2Oout}	6,47E+05	g/h
Totale		6,21E+06	g/h
Frazione ponderale O ₂ in uscita	y'_{O2}	0,2079	
Peso molecolare miscela in uscita	MW_{out}	27,80	
Frazione volumetrica O ₂ in uscita	x_{O2}	0,18	
Verifica calcolo per iterazione	delta	0,0	

8.5.6. Determinazione della portata d'aria effettiva

Sulla base delle elaborazioni illustrate, è stato calcolato un fabbisogno teorico, basato sulle assunzioni inerenti la composizione media del substrato (miscela), la cinetica di bio-degradazione, il tempo di processo, ecc.

Tuttavia, i sistemi di insufflazione sono stati poi dimensionati in base ad un criterio empirico, abbastanza universalmente adottato per le fasi ACT, che tiene conto della grande eterogeneità e variabilità delle caratteristiche dei rifiuti in ingresso all'impianto.

Secondo tale criterio cautelativo, il fabbisogno di aria per il processo di bio-ossidazione accelerata è fissato in **24 Smc/t**. Nella seguente tabella sono riportati i calcoli di dimensionamento dei ventilatori da installare per ogni singola biocella.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 64 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Tabella 22. Calcolo dei ventilatori (singola biocella)

CALCOLO DEI VENTILATORI (SINGOLA BIOCELLA)			
Fabbisogno d'aria per tonnellata di secco per ciclo	f_{aria}	5.797	m ³ /t
frazione di secco	X_{secco}	0,3589	t /anno
Fabbisogno d'aria per ciclo	F_{aria}	736.320	m ³
giorni in un ciclo	θ	18	
ore aerazione / giorno	d	24	h /giorno
ore totali di aerazione	D	432	h
portata oraria totale	Q_{aria}	1.704,44	m ³ /h
portata oraria per tonnellata trattata teorica	q_{aria}	4,82	m ³ /h /t

Fattore di sicurezza	SF	8,5	
portata oraria per tonnellata trattata di progetto	q_{aria}	41	m³ h⁻¹ t⁻¹
portata oraria	Q_{aria}	14.510,93	m ³ h ⁻¹
frazione di solidi volatili	X_{sv}	0,87	
solidi volatili per ciclo	SV	307,0	t
portata per tonnellata di solidi volatili	$f_{aria,SV}$	20.421,40	m ³ t _{SV} ⁻¹
numero di ventilatori	n_v	1	
portata effettiva	$Q_{aria,eff}$	15.000,00	m ³ h ⁻¹
pressione ventilatore a 20°C	P_v	6.500,00	Pa
rendimento ventilatore	h_v	0,7	
potenza ventilatore	P_v	75	kW

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

8.6. Sistema di controllo della fermentazione accelerata

Il processo di compostaggio è controllato mediante apposito sistema di supervisione che, a partire dalla rilevazione dei parametri di processo, elabora i dati e regola le apparecchiature (ventilatori, valvole ecc..) che controllano l'immissione di ossigeno e l'umidificazione del cumulo in fermentazione. In ogni biocella sono controllati i seguenti parametri:

- temperatura: in due punti del cumulo facendo la media dei valori rilevati;
- concentrazione della CO₂ nell'aria all'interno della biocella;
- umidità relativa nell'aria all'interno della biocella.

Come si rileva dal grafico di Figura 9 esiste una stretta correlazione tra concentrazione della CO₂, la temperatura e l'umidità in funzione del tempo e dell'andamento della fermentazione. Il sistema di controllo pertanto regola l'aria insufflata al fine di mantenere i parametri di processo il più prossimi possibile all'andamento del grafico suddetto.

In ogni biocella l'aria insufflata può essere prelevata dall'esterno o direttamente dalla biocella stessa (ricircolo) oppure può essere una miscela delle due arie (ricircolo parziale).

La biocella è comunque mantenuta costantemente in depressione per evitare la fuoriuscita di cattivi odori.

Tale condizione è garantita dalla presenza di un pressostato che regola una valvola modulante collegata all'aspirazione principale dell'impianto.

Ogni ventilatore d'insufflazione dell'aria può quindi aspirare dalla biocella o dal capannone (aria esterna).

La portata d'aria aspirata dai suddetti ventilatori all'interno del capannone è misurata mediante apposito anemometro a filo caldo in quanto tale flusso entra nel computo globale dell'aria aspirata dal capannone ricezione e biocelle dal sistema d'aspirazione principale.

Il pavimento delle biocelle è realizzato con piastre dotate di ugelli conici che garantiscono una densità di fori da 2 cm di diametro di circa 20 a mq. L'ugello è del tipo a cono con la parte inferiore più larga di quella superiore in modo tale da consentirne l'autopulizia.

L'irrigazione del cumulo in maturazione viene effettuato in base al grado di temperatura e umidità del cumulo.

Tali parametri, infatti, agiscono sulle elettrovalvole d'intercettazione della linea d'irrigazione.

L'irrigazione è effettuata ricircolando il percolato stesso raccolto nella parte inferiore delle biocelle e convogliato in una vasca di decantazione dalla quale è rilanciato con opportune pompe.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 66 di 96

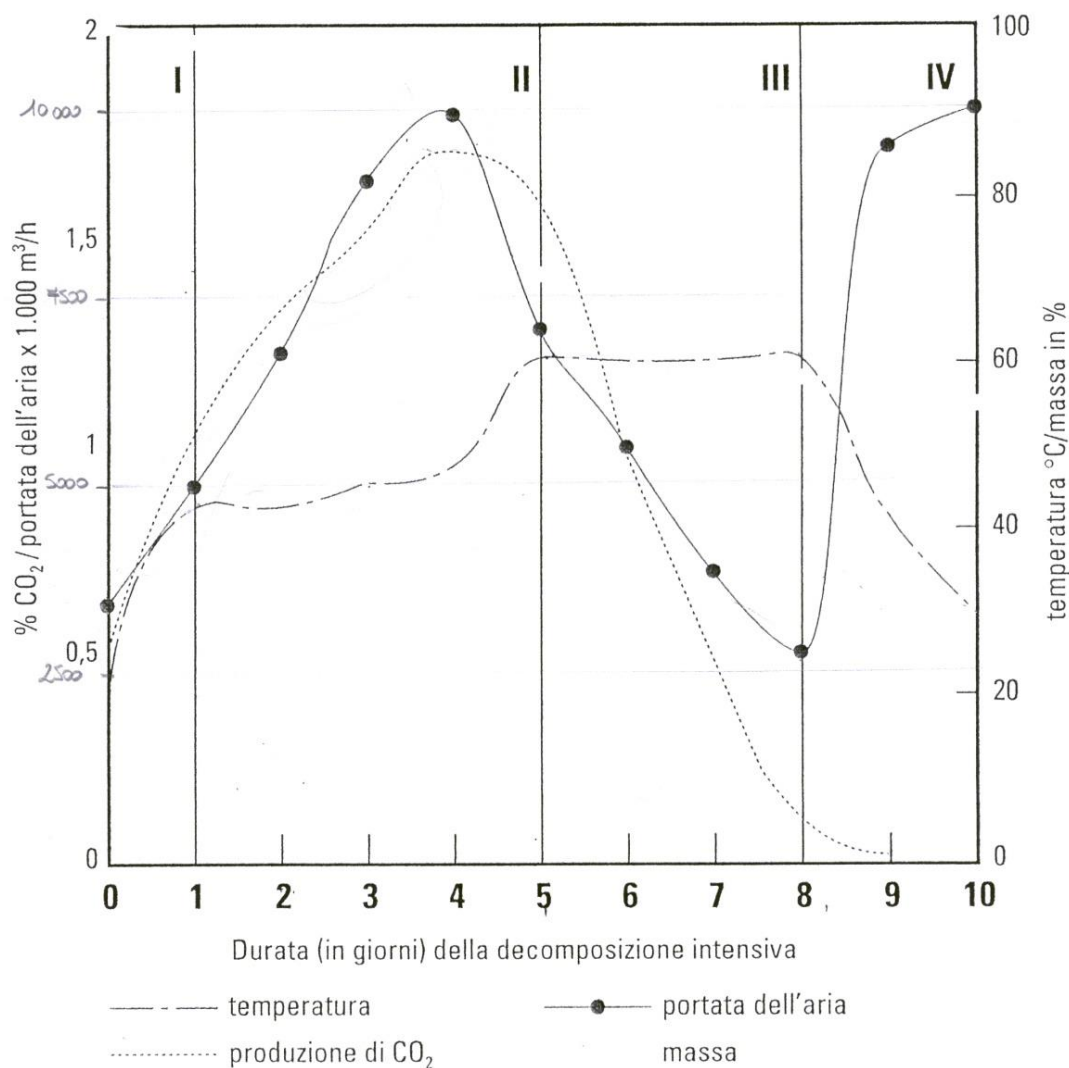


Figura 9 Evoluzione di CO₂ nel processo di compostaggio

8.7. Dimensionamento della fase di maturazione

Alla fine della fase di compostaggio attivo, il materiale in uscita presenta ancora un elevato grado di putrescibilità che dovrà essere ridotto nella sezione di maturazione dell'impianto, dove la biomassa subirà quelle trasformazioni aerobiche che consentiranno di avere un prodotto compatibile con lo sviluppo delle piante.

La maturazione è stata suddivisa in due fasi successive di cui la prima della durata complessiva di **30 giorni** naturali e consecutivi su platea aerata, che, in considerazione della durata delle fasi di carico e scarico, porta a 37 giorni la durata complessiva di un ciclo di maturazione primaria; la seconda per ulteriori **35 giorni** in cumuli rivoltati in modo da avere, complessivamente, un tempo di trattamento totale pari a **90 giorni**.

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

8.7.1. Maturazione primaria

Durante il periodo di maturazione primaria è prevista una insufflazione continua e per questo sono stati opportunamente dimensionati sia la platea aerata, sia i sistemi di ventilazione.

Tabella 23. Dimensionamento maturazione primaria

1. BILANCIO DI MATERIA

frazione di secco in ingresso ACT		0,359	
peso di secco in ingresso ACT	W'_{secco}	10.767	t /anno
peso di secco in uscita per kg secco in ingresso	$W_{\text{secco,u}}$	0,710	kg _{secco,u} /kg _{secco,i}
frazione di secco in uscita ACT		0,450	
peso di secco in ingresso alla maturazione	W''_{secco}	7.649,7	t /anno
potenzialità annua in maturazione	Q	16.999	t /anno
peso specifico compost in maturazione	γ_{compost}	0,461	t /m ³

2. DIMENSIONAMENTO CUMULI DI MATURAZIONE

lunghezza di una pista	L	30,00	m
larghezza di una pista	B	10,00	m
altezza	h_{cum}	2,50	m
angolo scarpata	α	55,0	°
volume utile di un cumulo	V	618,7	m ³
peso specifico compost in maturazione	γ_{compost}	0,461	t m ⁻³
peso di un cumulo	q	285,49	t
tempo totale di un ciclo	θ	30,00	d
tempo morto di carico e scarico	t_{CS}	7,00	d
tempo totale di un ciclo	t_{TOT}	30,00	d
cariche fattibili per anno	n_{car}	12,17	
quantitativo annuo trattabile in un cumulo	Q_i	3473	t y ⁻¹
numero di cumuli	n	5,00	
superficie in pianta	A	1500,00	

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Tabella 24. Riepilogo dimensionamento maturazione primaria

Parametro	u.m.	Valore
durata ciclo	giorni	37
perdita di volume ACT	%	25,7%
umidità in uscita ACT	%	55,00%
perdite di processo ACT	t /anno	13.000,72
volume ciclo	m ³ /ciclo	3.027,98
peso ciclo	t /ciclo	1.397,20
volume giornaliero	m ³ /giorno	100,93
volume annuo maturazione	m ³ /anno	36.840,43
peso annuo maturazione	t /anno	16.999,28
peso per unità di volume	t /m ³	0,461
altezza cumulo	m	2,5
larghezza pista	m	10,00
angolo scarpata	°	55,0
volume massimo cumulo	m ³	618,7
lunghezza pista	m	30,00
superficie pista	m ²	300
n. piste	-	5,00
volume/cumulo	m ³	605,6
giorni di caricamento pista	giorno	7,00

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

8.7.2. Aerazione della maturazione primaria

Per ciò che concerne il fabbisogno di aria, valgono considerazioni analoghe a quelle viste per le biocelle, il calcolo teorico restituisce un valore inferiore a quello adottato, cautelativamente, per il dimensionamento effettivo e posto, sulla base di tipiche assunzioni empiriche, pari a **25 Smc/t**.

Tabella 25. Calcolo del ventilatore per la maturazione

Fabbisogno d'aria per tonnellata di secco	f_{aria}	7.773,50	m ³ /t
frazione di secco	X_{secco}	0,450	
Fabbisogno d'aria per cumulo	F_{aria}	998.671,69	
Fabbisogno d'aria per ciclo	$F_{aria,ciclo}$	4.993.358,45	m ³
giorni in un ciclo	θ	30,00	
ore aerazione / giorno	d	24,00	
ore totali di aerazione	D	720	h
portata oraria totale	Q_{aria}	6.935,22	m ³ /h
portata oraria per tonnellata trattata teorica	q_{aria}	4,86	m ³ /h /t

Fattore di sicurezza	SF	7	
portata oraria per tonnellata trattata di progetto	q_{aria}	34,00	m³ /h /t
portata oraria	Q_{aria}	48.533,62	m ³ /h
frazione di solidi volatili	X_{sv}	0,87	
solidi volatili per ciclo	SV	7.649,68	t
portata per tonnellata di solidi volatili	$f_{aria,SV}$	4.568,06	m ³ /t _{sv}
numero di ventilatori	n_v	1	
portata effettiva per ventilatore	$Q_{aria,eff}$	50.000,00	m ³ /h
pressione ventilatore a 20°C	Π_v	4.200,00	Pa
rendimento ventilatore	η_v	0,85	
potenza ventilatore	P_v	824	kW

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

8.7.3. Maturazione secondaria

Nelle tabelle seguenti sono sintetizzati i calcoli per il dimensionamento di questa fase.

Tabella 26. Dimensionamento maturazione secondaria

1. BILANCIO DI MATERIA

frazione di secco in ingresso alla Maturazione I		0,45	
peso di secco in ingresso alla Maturazione I	W'_{secco}	7.650	t /anno
frazione di secco in uscita dalla Maturazione I		0,500	
peso di secco in uscita per kg secco in ingresso	$W_{\text{secco,u}}$	0,708	kg _{secco,u} /kg _{secco,i}
peso di secco in ingresso alla MATURAZIONE II	W''_{secco}	5.417	t /anno
potenzialità annua in maturazione	Q	10.833	t /anno
peso specifico compost in maturazione	γ_{compost}	0,40	t /m ³

2. DIMENSIONAMENTO CUMULI DI MATURAZIONE

larghezza di una pista	B	3,00	m
lunghezza di una pista	L	30,00	m
altezza di un cumulo	h_{cum}	1,90	m
angolo scarpata	α	55,0	°
volume utile di un cumulo	V	163,4	m ³
peso specifico compost in maturazione	γ_{compost}	0,40	t /m ³
peso di un cumulo	q	65,46	t
tempo totale di un ciclo	θ	30,00	giorno
tempo morto di carico e scarico	t_{cs}	7,00	giorno
tempo totale di un ciclo	t_{TOT}	37,00	giorno
cariche fattibili per anno	n_{car}	10	
quantitativo annuo trattabile in un cumulo	Q_i	655	t /anno
numero di cumuli	n	17,00	
superficie in pianta	A	1530,00	

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

8.7.4. Raffinazione del compost

Al termine del processo di maturazione, il materiale in fase di stabilizzazione grezzo viene sottoposto ad una deferrizzazione e, successivamente, ad una vagliatura a doppio stadio.

La vagliatura ha la finalità di allontanare i materiali legnosi non degradati di pezzatura superiore a quella del vaglio e gli eventuali elementi indesiderati come plastica e vetro in modo da ottenere un prodotto pulito e di granulometria uniforme.

Non si è ritenuta utile l'installazione di una apparecchiatura finalizzata alla deplastificazione in quanto oramai i sistemi per la raccolta differenziata – soprattutto nell'area di pertinenza dell'impianto in parola – utilizzano quasi esclusivamente sacchetti tipo Mater-Bi o, in generale, compostabili.

Il vaglio in progetto è un vaglio a due stadi: nel primo stadio si realizza la separazione della frazione fine (con pezzatura ≤ 10 mm), che rappresenta a tutti gli effetti il compost finito e viene immediatamente spostato nell'area di stoccaggio all'uopo realizzata.

Nel secondo stadio si separa una frazione intermedia (pezzatura ≤ 60 mm) che viene ricircolata in testa al processo, per fungere da strutturante di ricircolo, dalla frazione di sovravvallo finale, che viene avviata a smaltimento o termovalorizzazione.

Il sistema di vagliatura è stato posto in posizione intermedia tra la maturazione secondaria (dalla quale il compost grezzo viene spostato, con pala meccanica, nella tramoggia di carico della linea di raffinazione) e l'area di stoccaggi del compost finito, in modo da accorciare il più possibile gli spostamenti della pala e semplificare le attività gestionali.

Tabella 27. Riepilogo dati maturazione secondaria e vagliatura finale

Parametro	u.m.	Valore
durata ciclo	giorni	30,00
perdita di volume MATURAZIONE I	%	20,00%
umidità in uscita MATURAZIONE I	%	50,00%
perdite di processo MATURAZIONE I	t /anno	4.892,48
volume annuo MATURAZIONE II	m ³ /anno	27.042,67
peso annuo MATURAZIONE II	t /anno	10.833,29
peso per unità di volume	t /m ³	0,40
volume giornaliero	m ³ /giorno	74,09
altezza cumulo	m	1,9
lunghezza cumulo	m	30,00
angolo scarpata	°	55,0
volume massimo cumulo	m ³	163,4
larghezza cumulo	m	3,00

File 1137-D-0-RT-02 0	Doc. RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 72 di 96
--------------------------	--	-----------------

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

superficie cumulo	m ²	90
n. cumuli	-	17,00
giorni di caricamento cumuli	giorno	7,00
Raffinazione		
Frazione di secco in uscita da Maturazione II		0,520
umidità in uscita MATURAZIONE II	%	48,00%
peso per unità di volume	t /m ³	0,376
perdite di processo MATURAZIONE II	t /anno	0,00
perdita di volume MATURAZIONE II	%	17,85%
volume annuo RAFFINAZIONE	m ³ /anno	22.214,88
peso annuo RAFFINAZIONE	t /anno	8.358,75
Compost annuo	t /anno	6.687,00
Rendimento		22,29%
peso per unità di volume del compost	t /m ³	0,340
volume annuo di compost prodotto	m ³	19.680,95
volume giornaliero prodotto	m ³ /giorno	53,92
sovvallo da vagliatura primaria	t /anno	0,00
sovvallo vagliatura secondaria	t /anno	1.671,75
sovvallo da ricircolo (70%)	t /anno	1.170,22
sovvallo da smaltire	t /anno	501,52

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Nella tabella che segue sono riportate le verifiche relative all'area di stoccaggio del compost finito, che sarà in grado di ospitare le quantità prodotte in **25 giorni** naturali e consecutivi.

Tabella 28. Verifica area di stoccaggio compost finito

peso specifico medio	γ_{compost}	0,34	t m ⁻³
giorni utili di stoccaggio	d	25,00	d
quantitativo da stoccare	M _{comost}	458,01	t
lunghezza area stoccaggio	L	27,00	m
larghezza area stoccaggio	B	27,00	m
superficie in pianta	S	729,0	m ²
altezza	h_{cum}	1,9	m
angolo scarpata	α	60,0	°
volume utile di un cumulo	V	1328,8	m ³
peso di un cumulo	q	451,50	t

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle			PROGETTO DEFINITIVO
Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle			
Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Peso specifico	0,401	t /m ³					
Perdita di volume	20%						
Volume	27.768,6	m ³ / anno	76,08	m ³ /giorno			
MATURAZIONE II OUT							
Massa	8.358,7	t /anno			27,9%	2.765,4	t /anno
Umidità	0,48						
Secco	0,52						
Peso secco	4.346,5	t _{ss} /anno					
Peso specifico	0,376	t /m ³					
Perdita di volume	20%						
Volume	22.214,9	m ³ / anno	60,86	m ³ /giorno			
RAFFINAZIONE OUT							
Frazione compost/miscela	0,8						
Compost							
Massa	6.687,0	t /anno			22,3%	0,0	t /anno
Umidità	0,45						
Secco	0,55						
Peso secco	3.677,8	t _{ss} /anno					
Peso specifico	0,340	t /m ³					
Perdita di volume	11%						
Volume	19.681,0	m ³ / anno	53,92	m ³ /giorno			
Sovvallo							
Massa	1.671,7	t /anno					
Percentuale ricircolo	0,7						
Sovvallo di ricircolo	1.170,2	t /anno					
Smaltimenti	501,5	t /anno			1,7%		
TOTALE PERDITE DI PROCESSO						21.641,3 t /anno	

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 76 di 96

Tabella 30. Riepilogo bilancio di materia

Grandezza	U.M.	Valore
Massa iniziale	t/anno	30.000,00
Massa in ingresso ACT	t/anno	30.000,00
Massa in ingresso maturazione	t/anno	16.016,58
Massa in ingresso raffinazione	t/anno	8.358,75
Compost prodotto	t/anno	6.687,00
Sovvallo da ricircolo	t/anno	1.170,22
Sovvallo da smaltire	t/anno	501,52
Perdite di processo	t/anno	21.641,25

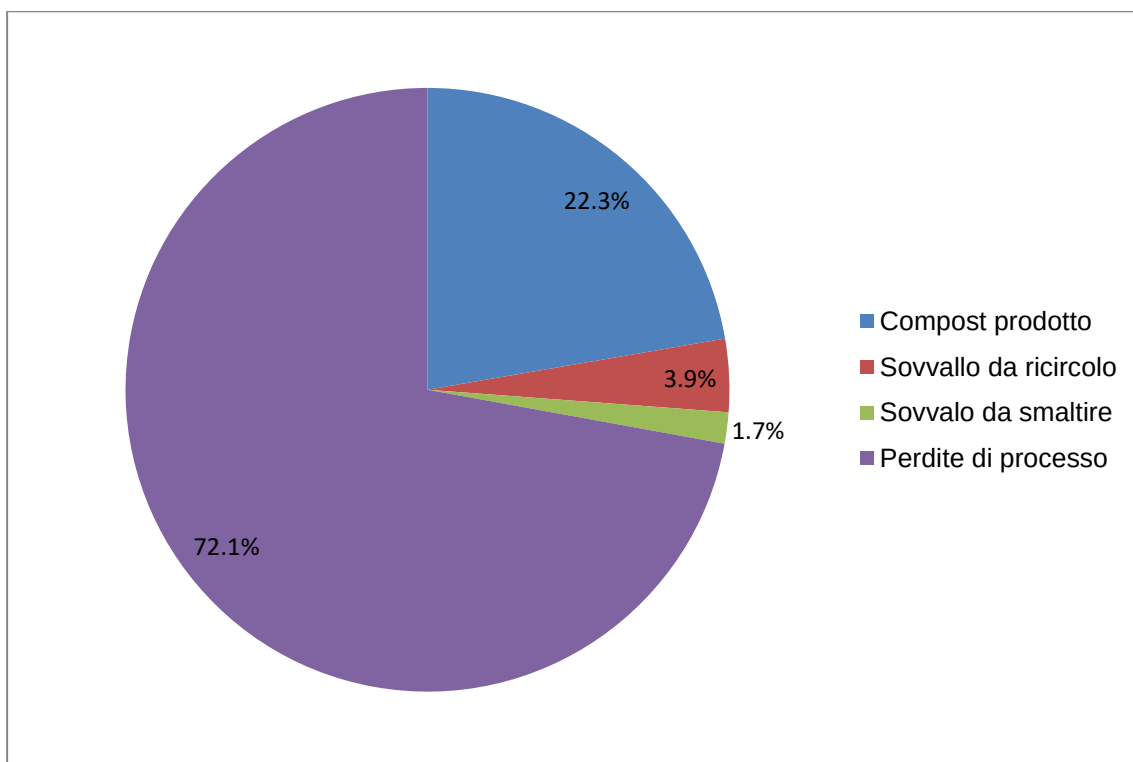


Figura 10 Bilancio di materia

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

9.1. Produzione di rifiuti

Per ciò che concerne la produzione di rifiuti, oltre al sovrappiù di scarto, la cui stima deriva direttamente dalle assunzioni fatte sul processo, devono essere considerati anche gli scarti ferrosi e, in via cautelativa, alcuni lotti di compost che dovesse risultare fuori specifica.

Le stime eseguite in sede di progettazione sono le seguenti:

Tabella 31. Rifiuti prodotti dal processo produttivo

CER 19.12.12: ALTRI RIFIUTI (SOVVALLO)	501,52	t/anno
CER 20.01.40: METALLO	600 - 900	t/anno
CER 19.05.03: COMPOST FUORI SPECIFICA (10%)	668,7	t/anno

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

10. Elenco apparecchiature

Si riportano di seguito le caratteristiche principali delle apparecchiature selezionate in questa fase, si rimanda per ulteriori dettagli all'Elaborato 1137-D-TM-DT-01 **Disciplinare descrittivo opere elettromeccaniche e schede tecniche delle apparecchiature**.

10.1. Trituratore

Si prevede l'installazione di un TRITURATORE tipo ORSI MARMIX 15E tipo o equivalente.

VASCA DA 15 m³ – VERSIONE FISSA ELETTRICA

- Vasca con capacità 15 m³ con fondo rinforzato da 12 mm e fianchi da 6 mm in acciaio ST52.3
- Altezza scocca portante = 1.200 mm
- N°02 coclee controrotanti Ø600 mm con lame
- Scarico centrale su entrambe i lati con pistoni di sollevamento e larghezza 1.100 mm
- Portine di scarico con segnale luminoso
- Portina di scarico principale (da indicare in fase d'ordine) regolabile in altezza
- Centralina Brevini per l'apertura delle portine di scarico
- N°02 riduttori Brevini Serie SL4002
- N°02 centraline di raffreddamento per riduttori
- N°02 motori elettrici 75 kW, 4 poli, 380/660 V, 50 Hz, classe IE3, 1.500 giri/min con cuscinetti sigillati
- Giunto elastico di collegamento tra motori e riduttori
- Colore blu-bianco/grigio
- Quadro elettrico a bordo macchina e touch-screen

10.2. Misceleatore

Si prevede l'installazione di un misceleatore tipo ORSI MARMIX 15E o equivalente

VASCA DI MISCELAZIONE DA 15 MC – VERSIONE FISSA ELETTRICA

- Vasca di miscelazione con capacità 15 mc con fondo rinforzato da 12 mm e fianchi da 6 mm in acciaio ST52.3
- Altezza scocca portante = 1.200 mm
- N°02 coclee controrotanti Ø600 mm con lame
- Scarico centrale su entrambe i lati con pistoni di sollevamento e larghezza 1.100 mm
- Portine di scarico con segnale luminoso
- Portina di scarico principale (da indicare in fase d'ordine) regolabile in altezza
- Centralina Brevini per l'apertura delle portine di scarico
- N°02 motori elettrici 75 kW, 4 poli, 380/660 V, 50 Hz, classe IE3, 1.500 giri/min con cuscinetti sigillati
- N°02 riduttori Brevini Serie SL4002
- N°02 centraline di raffreddamento per riduttori
- Giunto elastico di collegamento tra motori e riduttori

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 79 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

- Colore blu-bianco/grigio
- Quadro elettrico a bordo macchina e touch-screen

10.3. Tramoggia di carico

Si prevede l'installazione di una tramoggia di carico tipo SPALECK MOD. SFLU 1.000 250I×5.000 o equivalente.

Descrizione

Modello	SFLU 1000-250*500
Trasmissione	doppia sbilanciata
Posizione trasmissione	interna, nella parte inferiore
Configurazione	struttura aperta, in acciaio, saldata e resistente alle vibrazioni
Struttura	acciaio dolce – 1.0122 (S235 JR G 2C)
Allestimento	nastro con rivestimento imbullonato; materiale 1.8704 (analogo all' Hardox)
Dimensioni generali	(LaxHxLu) 1.000x250x5.000 mm

Rivestimenti

Fondo	1.8704 t=6mm, fissato con bulloneria (analogo all' Hardox)
Fianchi	1.8704 t=6mm, fissato con bulloneria (analogo all' Hardox)

Allestimento

Inclinazione	4°
Isolamento	ammortizzatori in gomma ad alta elasticità; incluse piastre d'appoggio

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 80 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Trasmissione

Tipo	2 motori sbilanciati
Modello	SU 4-415 (17) 400/50
Velocità	1.500 rpm
Momento	415 Kgcm
Coppia	49 Kn
Potenza	3 kW (totale 6,0 kW)
Corrente nominale	5,89A (totale 11,78A)
Alimentazione	400 V / 50 Hz
Classe di protezione	IP66
Caratteristiche	• forza centrifuga regolabile durante i fermi • ingrassaggio permanente • adatta per funzionamento in continuo al 100% della forza centrifuga • classe di isolamento “F” • con termistori a coefficiente di temperature positive per ogni fase • isolamento per climi tropicali • temperatura ambientale -20 / +40°C
Peso totale	kg.1.650 ca

Inverter SFB 18,5 – (50) 400/50

Allestimento	integrato
Alimentazione	400 V / 50 Hz
Classe di protezione	IP20
Caratteristiche	• KIT DI INSTALLAZIONE per regolazione di massimo due motori sbilanciati • quadro di comando • display • componenti a potenziale libero • impostazione: potenziometro 0...10 V o 4...20 mA • incluso sistema di arresto e filtri

Quadro di comando per SFB

Include l'inverter per l'unità di alimentazione e due sistemi di arresto per i vagli

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 81 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Totalmente cablato all'inverter

Comandi:

- interruttore principale on/off
- arresto d'emergenza
- nteruttore on/off

Quadro di comando in acciaio verniciato

Classe di protezione IP54

Struttura di sostegno per SFLU

Costruzione in acciaio realizzata in profilato di idonea dimensione

Altezza struttura idonea a far sì che l'altezza di carico di SFLU sia quella richiesta.

Materiale: acciaio verniciato

Peso: ca. 1.250 kg

Tramoggia ST/E

Struttura realizzata in acciaio di idonee dimensioni

Tramoggia:

- materiale 1.8704 (simile all' Hardox 400), verniciato
- spessore lamiera metalliche (sponde tramoggia) = 10 mm
- volume nominale ca. 7,2 m³
- altezza di carico (filo superiore tramoggia) ca. 2.800 mm
- sommità tramoggia dotata di bordo flangiato su tre lati inclusa valvola oscillatrice sullo scarico della tramoggia

Telaio di sostegno tramoggia in acciaio verniciato

Incluse piastre d'appoggio per il montaggio in sito

Peso: kg.2.500 ca

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 82 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

10.4. Separatore magnetico

Si prevede l'installazione di un Separatore magnetico con magneti permanenti in ferrite - MODELLO SMF-B 165/70 o equivalente

Descrizione tecnica

posizionamento	da installare trasversalmente al di sopra di un nastro trasportatore avente larghezza utile: consigliata mm. 1.200 – massima mm. 1.600
piastra magnetica	realizzata con lamiera ad elevato spessore contenente magneti permanenti in Ferrite ad alto HC campo magnetico dei magneti garantito per 20 anni sistema di sicurezza interno, per la ritenuta meccanica dei magneti dimensioni: lunghezza mm. 1.650 larghezza mm. 700 spessore mm. 300
dimensioni ingombro	di lunghezza mm. 2.6700 larghezza mm. 1.040 – con motore c.ca mm. 1.250 altezza mm. 440 c.ca
struttura	in robusti profilati di acciaio
rulli	in acciaio diametro mm. 320 tornitura biconica per autocentratura del nastro alberi passanti calettati e sostituibili
supporti	su cuscinetti SKF autolubrificati
nastro trasportatore	in Gomma con listelli da mm. 40 x 25, passo mm. 400
motorizzazione	motoriduttore Bonfiglioli/Siti rapporto 1/15 motore ATB-Sever da 3,0 KW velocità del nastro ca. 95 m/min
potenza	complessiva installata KW 3,0
carrozzeria e ripari	a norme CE in acciaio Inox AISI 304 progettati per una semplice sostituzione del nastro
verniciatura	poliuretanica con colore R.A.L. a scelta
peso	complessivo macchina c.ca Kg. 1.550
altre informazioni sulla macchina	sollevamento tramite nr. 4 golfari superiori

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 83 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

10.5. Vaglio vibrante

Si prevede l'installazione di un Vaglio Vibrante tipo SPALECK MOD. FLIP FLOW ELASTICA TIPO SEWS 1200X5200

1) N°01 piano di vaglio DOPPIO SEWS 1.200-*5.200

Vaglio SPALECK FLIP-FLOW ELASTICA, Tipo SEWS 1.600x5.200[6.500]

Descrizione della macchina

Tipo	piano di vaglio doppio
Modello	SEWS 1200 -*5200
Funzionamento	trasmissione a mezzo albero motore
Posizione trasmissione	su vaglio Flip Flow Elastica
Configurazione	struttura Aperta, in acciaio, saldata e resistente alle
vibrazioni	
Struttura	acciaio dolce--1.0122 (S235 JR G 2C)
Allestimento	- telaio strutturato in due moduli - inclinazione regolabile meccanicamente - parti inferiori della struttura rinforzate con protezioni in gomma (ca. 250 mm) per fissare la macchina allo scivolo (fornito dal Cliente) - trasmissione collocata lateralmente a destra/sinistra rispetto alla direzione di trasporto del materiale - compreso limitatore di velocità per la regolazione meccanica della stessa - molle con viti a pressione coperte da tubo flessibile.
Dimensioni	- larghezza 1.200 mm - lunghezza 5.200 mm

Pannello di vaglio

Configurazione	elementi di vaglio in poliuretano ad alta resistenza all'usura
Fissaggio	cunei in gomma, senza bulloneria

Copertura

Tipo	telone impermeabile a fissaggio rapido
------	--

Scarico

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 84 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Materiale fine e medio	sotto l'area di vaglio
Sopravaglio	a fine macchina

Allestimento

Isolamento	molle con vite a pressione, incluse piastre
Telaio di supporto	fornito dal Cliente

Funzionamento

Trasmissione	monoalbero
Modello	SW 8-3800 (46)
Velocità	750 giri/min
Momento	3.600 kgcm
Caratteristiche	- cuscinetto oscillante a sfere ingrassato - chip eccentrici esterni provocano un moto circolare che può essere verificato durante i periodi di inattività - trasmissione a mezzo motori elettrici, tipo B3, n=750 gir/min oppure tramite albero cardanico e protezione
Peso complessivo:	ca. 4.900 kg

2) N°01 Motore trifase AC SS 4-11 (111) 400/50

Velocità	1.500 giri/min
Potenza	11,0 kW
Corrente nominale	20,5 A
Alimentazione	400 V / 50 Hz
Classe di protezione	IP 55
Caratteristiche	- tipo B3 - avviamento: triangolo - rpm asincroni: 1.475 giri/min - con termistori a coefficiente di temperature positive per ogni fase - morsettiera superiore - classe di efficienza "IE3"
Peso:	ca. 83 kg

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 85 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

3) N°01 Dispositivo di arresto SBB 40-100- APC (53)

Allestimento	integrato
Alimentazione	400 V / 50 Hz
Classe di protezione	IP 20
Caratteristiche	SET DI INSTALLAZIONE • dispositivo di arresto elettronico ad alta affidabilità, non soggetto ad usura che non richiede manutenzione, per l'arresto dolce dei motori elettrici • riduce la dinamica in fase di spegnimento, proteggendo così l'intera installazione • dispositivo APC completo di display per la corrente di arresto, monitoraggio della temperatura del motore, segnale per i fermi e monitoraggio della corrente di arresto • voltaggio/frequenza: 380-415 V $\pm 10\%$, 50/60 Hz • potenza di arresto 100 A
Dimensioni:	• larghezza: 110 mm • lunghezza: 140 mm • altezza: 242 mm
Peso:	ca. 2 kg

4) N°01 Telaio di scorrimento

Allestimento	telaio in acciaio con profilati di idonea dimensione
Applicazione	per lo spostamento/scorrimento del vaglio
Configurazione	in acciaio verniciato
Peso	ca. 600 kg

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 86 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

11. Stoccaggio e ricircolo del percolato

Il percolato raccolto al di sotto delle aie di ossidazione accelerata ACT e di maturazione, attraverso una apposita rete di drenaggio viene convogliato ad un pozzetto di rilancio.

Di qui esso viene ricircolato all'interno delle biocelle, con funzione di irrorazione e controllo dell'umidità, o inviato a serbatoi per lo stoccaggio temporaneo, da cui periodicamente si provvederà a spurgarlo e avviarlo a smaltimento.

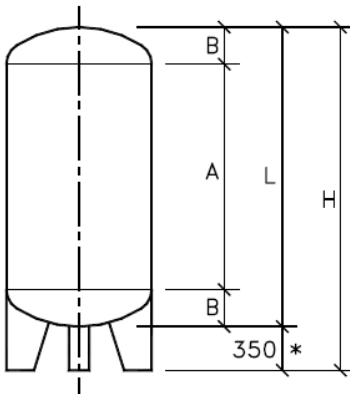
Si prevede l'installazione di **n°2 serbatoi in vetroresina (PRFV) da 40 mc/cad** per accumulo acque di reintegro e percolato con le seguenti caratteristiche tecniche:

SERBATOI VERTICALI CON PIEDI

VERTICAL DISHED BOTTOMS TANKS ON LEGS

VERTIKALE BEHÄLTER MIT FÜßEN

$\varnothing$ **2500**



☐ **CAPACITÀ FONDO**

☐ **BOTTOM VOLUME**

☐ **BODENVOLUMEN**

☐ **AREA SEZIONE**

☐ **SECTION AREA**

☐ **SCHNITTFLÄCHE**

= **2,05** m³

= **2,05** m³

= **2,05** m³

= **4,90** m²

= **4,90** m²

= **4,90** m²

CODICE <i>Code</i>	TIPO <i>Type</i>	VOLUME <i>Volume</i> m³	A mm	B mm	L mm	H mm	PIEDI <i>Legs</i> N°		
	S 250	25	4290	670	5630	5980	4		

Per il sollevamento del percolato dal pozzetto di raccolta ai serbatoi si prevede l'installazione di n°1 Gruppo rilancio percolato – (ATEX completamente in acciaio Aisi 304)

DESCRIZIONE GENERALE

Pompe di superficie centrifughe monoblocco con girante tipo chiuso per il pompaggio di liquidi aggressivi ed idrocarburi privi di sedimenti solidi. Girante e corpo pompa in acciaio AISI 304/316 di alto spessore per una maggiore resistenza meccanica ed alla corrosione. Il corpo pompa internamente ed esternamente lucido assicura massima igiene e le poche saldature presenti assicu-

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 87 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

rano alte prestazioni idrauliche e rendono la pompa maggiormente affidabile. Tenuta meccanica singola o doppia Certificati ATEX II 2G Ex h IIC T3 Gb - ATEX II 2D Ex h IIIC T120°C Db

Applicazione trattamento e depurazione acque reflue, acqua di mare e dissalazione, trattamento acque in industria tessile, conciaria e metallurgica, pompaggio acque termali ed in impianti petrolchimici, processi chimico industriali.

Motore ATEX asincrono 50 Hz, serie FL EX A motore 2 poli 2800 rpm, serie FL EX B motore 4 poli 1400 rpm

- Protezione IP65
- Tensione di lavoro: trifase 230V/400 V.
- Temperatura ambiente: min -20 °C – max +40 °C

CARATTERISTICHE TECNICHE:

PORTATA: 20 mc/h a

PREVALENZA: 4 bar

POTENZA ELETTRICA: 5,5kW

GRUPPO COMPOSTO DA:

N. 1 elettropompa esterna principale atex, N. 1 elettropompa esterna atex di riserva gruppo pilotato da INVERTER, N: 1 quadro gestione 2 elettropompe da posizionare in zona sicura con custodia metallica IP55 e all'interno i seguenti componenti:

- segnalatore presenza tensione
- segnalatore pompa in marcia
- segnalatore intervento termica
- contaore
- uscita allarme / allarme contatto
- pulsante blocco emergenza
- moduli a sicurezza intrinseca per ptc
- moduli per trasduttori

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 88 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

12. Presidi ambientali

Le opere di presidio ambientale rappresentano tutto quanto è necessario all'impianto per la corretta protezione delle matrici ambientali: acqua, aria e suolo e, per un impianto di trattamento, riguardano fondamentalmente la protezione contro i cattivi odori.

I cattivi odori, generalmente, non rappresentano un fattore di rischio per la salute degli operatori a servizio dell'impianto e delle persone localizzate nella vicinanza dell'impianto, ma possono generare un rischio di "insofferenza" nei confronti dello stesso, infatti se si confronta la concentrazione alla quale praticamente vi è la certezza che tutti avvertano il cattivo odore (100% ORC, Odor Recognition Concentration) e i livelli ammissibili di esposizione negli ambienti di lavoro (TLV, Threshold Limit Value) si vede che sono di ordini di grandezza inferiori, come rilevabile dalla lettura dei valori riportati nella seguente tabella.

Tabella 32. Confronto ORC / TLV per i principali composti odorigeni da impianti di compostaggio

SOSTANZA	100% ORC	TLV m ³ /h
Idrogeno solforato	1,4	14.000,0
Metilmercaptano	70,0	1.000,0
Dimetildisolfuro	16,0	-
Trimetilammina	9,8	24.000,0
Acido butirrico	73,0	-
Acido esanoico	29,0	-
Acetaldeide	549,0	180.000,0

In ogni caso è necessario mitigare quelle fasi che risultano maggiormente critiche e, cioè, la fase di stoccaggio e miscelazione della FORSU e le fasi di maturazione del compost. Il sistema di abbattimento sarà misto, formato da quattro scrubber ed un biofiltro opportunamente dimensionati.

Lo scrubber a corpi di riempimento, del tipo a letto fluido, installato a monte del biofiltro, avrà la duplice funzione di umidificare l'aria in ingresso al biofiltro e di eliminare eventuali materiali tipo polveri o grassi che potrebbero otturare la porosità del materiale biofiltrante.

Il principio di funzionamento di uno scrubber consiste nel convogliare l'aria inquinata all'interno di una camera nella quale viene realizzato, attraverso opportune tecnologie, un intimo contatto tra l'aria stessa ed una certa quantità di acqua, in modo tale da ottenere un trasferimento degli inquinanti dall'aria all'acqua.

Il tipo di scrubber scelto è stato quello a torre con corpi di riempimento. Trattasi di un manufatto sviluppato in verticale che contiene una certa quantità di corpi di riempimento che varia per la portata d'aria e sempre nel più ristretto rispetto di un tempo di contatto e di una velocità di passaggio dell'aria

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 89 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

da calcolarsi secondo le specifiche esigenze. Il volume e la particolare forma dei corpi di riempimento devono essere determinati in modo tale che essi impongano agli inquinanti da abbattere bruschi cambiamenti di direzione, così da intercettare meglio le particelle e nello stesso tempo offrire la massima superficie di contatto; sarà, al contempo, lasciato il massimo spazio possibile all'attraversamento dell'aria, risultando ridotte al minimo le perdite di carico.

Per il dimensionamento dell'impianto, nota la portata d'aria da trattare si fissa il tempo di contatto e la velocità di attraversamento in funzione dell'inquinante da abbattere e si calcola lo spessore e il volume dei corpi e conseguentemente il diametro dello scrubber.

La biofiltrazione è una tecnologia mediante la quale le emissioni gassose da trattare vengono fatte passare uniformemente attraverso un mezzo poroso biologicamente attivo, ovvero in un apposito letto riempito con materiali che vengono colonizzati da microrganismi aerobi in grado di degradare i composti da trattare presenti nelle emissioni; in pratica questi microrganismi non fanno altro che completare la degradazione della sostanza organica di partenza, di cui i composti odorosi sono composti intermedi di degradazione.

I biofiltri, come tutti i processi biologici di filtrazione, prevedono l'impiego di un largo spettro di microrganismi ubiquitari (batteri, funghi, lieviti), in grado di metabolizzare la maggior parte dei composti naturali -organici e inorganici - attraverso una serie notevole di reazioni biologiche (ossidazioni, riduzione, idrolisi).

Il principio di funzionamento di un biofiltro è legato alla possibilità di creare, per i microrganismi in esso residenti, un ambiente adatto alla loro sopravvivenza in termini di disponibilità di ossigeno, temperatura, acidità, disponibilità di micronutrienti e di substrato organico quale fonte di carbonio ed energia.

Nel biofiltro le sostanze da depurare vengono assorbite sul materiale soffice e poroso che costituisce il letto filtrante (torba, cippato di legno, compost vegetale, miscele), si sciolgono nel film acquoso che bagna e/o umidifica il materiale, diffondono rendendosi così disponibili ai microrganismi presenti nella matrice di cui è costituito il letto filtrante.

In esso si individuano i seguenti componenti:

- una struttura di contenimento;
- un sistema di diffusione dell'aria;
- un letto filtrante,
- un sistema per il mantenimento dell'umidità nel letto.

Per la realizzazione delle strutture di contenimento sono utilizzati diversi materiali e soluzioni che vanno dal legno al calcestruzzo in opera ai più moderni sistemi modulari prefabbricati in metallo o calcestruzzo. La necessaria impermeabilizzazione è garantita dal materiale stesso e dall'esecuzione della struttura, o può ottenersi tramite l'accoppiamento di quest'ultima con vasche preformate realizzate in teli plastici.

La diffusione dell'aria può avvenire mediante una rete di tubi forati posta al di sotto del letto filtrante, solitamente annegata in un letto di materiale inerte al fine di migliorare la diffusione ed il drenaggio. Di recente, e sempre più diffusamente, a tali sistemi di diffusione vengono preferiti sistemi che prevedono il posizionamento del letto filtrante su un grigliato al di sotto del quale viene creato uno

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 90 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

spazio che viene utilizzato per l'immissione dell'aria da trattare e la raccolta dei percolati. Il grigliato assicura una diffusione più omogenea e perdite di carico sensibilmente inferiori.

I letti filtranti possono essere grossolanamente suddivisi in funzione del tipo di materiale utilizzato per favorire la crescita e l'attività metabolica dei batteri. Si possono così distinguere biofiltri con letti filtranti di origine naturale a base di torba, compost o altri materiali di origine vegetale, singolarmente o miscelati fra loro, e biofiltri con letto filtrante in materiale inerte, questi ultimi poco utilizzati. Le proprietà richieste ad una ottimale miscela filtrante riguardano la porosità, che deve mantenersi a valori elevati (80-90%), la capacità di ritenzione idrica (40-70% di umidità) e la capacità di mantenere il più a lungo nel tempo le caratteristiche originarie.

1.3 Progetto e verifica dei sistemi di trattamento aria

1.3.1 Produzione ed impatto degli odori

Il processo di stabilizzazione della sostanza organica è accompagnato dalla produzione di sostanze odorigene (acidi grassi volatili, ammine, ammoniaca, composti gassosi organici, ecc.) in quantità comunque potenzialmente moleste dal punto di vista olfattivo. Le fasi potenzialmente più odorigene sono ovviamente quelle iniziali del processo di bioconversione, durante le quali il materiale presenta ancora una putrescibilità elevata. Allo scopo di ridurre le emissioni odorigene nell'ambiente esterno, tutte le aree deputate alle fasi di ricevimento, messa in riserva, compostaggio attivo e maturazione sono confinate e mantenute in depressione all'interno del capannone principale.

L'impianto di aspirazione e depurazione delle arie interne, garantirà un ricambio continuo di aria pari a 4 volumi/ora per l'intero capannone.

Come si è detto, l'abbattimento degli inquinanti presenti nell'aria aspirata dal capannone principale in depressione avverrà mediante un impianto di trattamento composto da due componenti principali funzionanti in serie:

- Sistema di aspirazione con canalizzazioni in metallo e ventilatori;
- Sistema di trattamento dell'aria composto da due moduli: Scrubber - Biofiltro.

Il sistema di aspirazione ha lo scopo di creare un flusso forzato di aria, convogliando la stessa al sistema scrubber-biofiltro e generando una depressione all'interno dei locali. L'aria esausta proveniente dalle diverse sezioni dell'impianto viene aspirata ed inviata al sistema trattamento e depurazione.

Per la progettazione del sistema di trattamento dell'aria interna all'impianto di compostaggio, si è fatto riferimento alle BAT per la categoria IPPC 5, che prevede la combinazione di scrubber-biofiltro.

In particolare si è previsto un modulo scrubber-biofiltro per il trattamento dell'aria della zona ricezione e trattamento rifiuti, per il corridoio di servizio e per la zona di deposito del compost finale ed un modulo scrubber-biofiltro per il trattamento dell'aria del blocco biocelle, aia di maturazione primaria e secondaria.

Il sistema è quindi composto da:

- N°4 torri di lavaggio;
- N° 2 bioltri.

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 91 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Ciascun biofiltro è suddiviso in due parti autonome ed indipendenti, al fine di garantire l'operatività in fase di manutenzione periodica.

Nella seguente tabella sono dunque riportati i dati utilizzati per il dimensionamento del sistema scrubber-biofiltro.

Tabella 33. Dati per il dimensionamento

Descrizione	Valore	U.M.
Capannone		
Superficie in pianta	10.100	m ²
Altezza utile interna (m)	9.20	m
Volume interno (V1)	92.920	m ³
Zona biocelle		
Superficie in pianta	1.050	m ²
Altezza utile interna	5,2	m
Volume a detrarre	5.460	m ³
Portata aria al sistema di trattamento		
Volume complessivo	87.460	m ²
Ricambi orari	4	
Portata	349.840	m ³ /h
Portata assunta per il dimensionamento	360.000	m³/h

1.3.2 Dimensionamento delle torri di lavaggio

Per il dimensionamento degli scrubber che dovranno servire l'impianto di che trattasi, si è fatto riferimento ai parametri indicati nelle tabelle seguenti ed al seguente processo di trattamento.

Processo di trattamento

Per il trattamento delle immissioni si è inteso instaurare il seguente processo di abbattimento:

1. Eliminazione polveri e/o particolato attraverso sistema di abbattimento Jet venturi;
2. Assorbimento in soluzione acquosa additivata con acido solforico;
3. Separazione della condensa attraverso un demister in PVC alveolare;
4. Assorbimento in soluzione acquosa additivata con idrossido di sodio ed ipoclorito di sodio;

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 92 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

5. Separazione della condensa attraverso un demister in PVC alveolare;

L'assorbimento dei COV e CIV solubili in fase acquosa, viene contemplato nelle MTD elencate nel DGR della Regione Campania nr. 243 del 05.08.2015.

Il processo consiste nel trasferimento di massa delle sostanze inquinanti e delle polveri tra la fase aeriforme (flusso da depurare) e quella allo stato condensato (soluzione di lavaggio).

Per l'implementazione di tale processo, l'aria viene fatta convogliare attraverso un elettroventilatore di supporto attraverso un doppio reattore in serie di forma cilindrica, a sviluppo verticale, all'interno dei quali vengono alloggiati dei letti di assorbimento con corpi di riempimento alla rinfusa (PP a sfere cave) che opportunamente irrorati da una quantità d'acqua proporzionale alla sezione di passaggio dell'effluente ed alla superficie di scambio disponibile, incentivano lo scambio degli inquinanti tra la fase ascendente diretta a camino e quella discendente destinata al riciclo fino ad esaurimento.

Oltre tale termine, l'esausto prodotto, verrà codificato come rifiuto e ritirato per lo smaltimento di legge. Per prolungare la "vita media" del fluido abbattente ed inertizzare le sostanze in esso assorbite, si intende far uso dei seguenti chemicals di supporto:

- Per il primo stadio di trattamento (reattore 1.1): acido solforico, con pH della soluzione di lavaggio compreso tra 4 e 7 u.ph. Tale presenza, permetterà di ottenere la neutralizzazione salina (inertizzazione) delle sostanze di natura alcalina;
- Per il secondo stadio di trattamento (reattore 1.2): idrossido di sodio, con pH della soluzione di lavaggio compreso tra 7 e 11 u.ph. Tale presenza, permetterà di ottenere la neutralizzazione salina (inertizzazione) delle sostanze di natura acida;
- Per il secondo stadio di trattamento (reattore 1.2): ipoclorito di sodio, con ORP della soluzione di lavaggio compreso tra 100 e 500 mV. Tale presenza, permetterà di ottenere l'ossidazione chimica delle sostanze di varia natura e l'inibizione della formazione di alghe e muffe all'interno dei reattori.

Sulla base di questi parametri di progetto e delle assunzioni innanzi richiamate, si ottiene il seguente dimensionamento delle torri di lavaggio

File	Doc.	
1137-D-0-RT-02 0	RT-02:Relazione Tecnica Impianto	Pagina 93 di 96

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Tabella 34. Scrubber: Condizioni ambientali di esercizio

Parametro	u.m.	Valori
Temperatura ambiente	°C	+5 ÷ +40
Altitudine	m.s.l.m.	< 1.000 m s.l.m.
Umidità relativa	%	< 50%
Qualità ambiente	Assenza di polvere in sospensione, assenza di cariche elettrostatiche, assenza di fonti di calore, assenza di aria salmastra, assenza di sollecitazioni meccaniche e vibrazioni.	
Classificazione area	Ex	Non classificata
Numero di torri	-	4
Portata unitaria	Nm ³ /h	90.000 (*)

Tabella 35. Scrubber: Dati di processo

Parametro	u.m.	Valori
Temperatura ambiente	°C	<= 40
n. letti flottanti	-	Almeno 1 (2 per reazione acido-base)
Velocità di attraversamento nei letti flottanti	m/s	3-5
Altezza di ogni letto flottante in condizioni statiche	m	> 0,4
Portata minima del liquido ricircolato	m ³ x 1000 m ³ di effluente gassoso (2m ³)	1,2
Perdite di carico totale:	kPa	<= 3
Tipo di nebulizzazione	Spruzzatori/nebulizzatori da 10 micron con raggio di copertura sovrapposto del 30%	
Tipo di fluido a battente	Acqua o soluzione specifica	

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Tabella 36. Specifica delle 4 colonne parallele, ad asse verticale per abbattimento NH₃ e H₂S

Elemento	Note
Tipo di torre	Colonna ad asse verticale flottante realizzata in PP da 80.000 Nm ³ /h per abbattimento di NH ₃ e H ₂ S
Diametro torre	Ø 2.700 mm,
H totale	approx 13.000 mm
Vasca di base in PP	Presente
Torre a doppio stadio	Separazione dei 2 stadi attraverso camino interno
Venturi	Nr.2 Venturi in parallelo in PP: Ø testata/base 1250 mm, H totale approx 5000 mm Ø imbocco gas 1000 mm
Separatore di gocce	N° 2 separatori (1 per ciascuno stadio)
Corpi di riempimento	in PP a sfere cave (N°2 camere di flottazione)
Gruppo reintegro automatico	Presente
Flange di Rinforzo	in PP
Rampe di lavaggio	in PVC con ugelli nebulizzatori in PP
Oblò per ispezione visiva	Presente
Tronchetti di carico/scarico	Presente
Troppopieno e scarico di fondo	Presente
Bulloneria	Presente
Tubazione di lavaggio	in PVC con valvole di spurgo e reintegro
Grigliato per supporto corpi	in PP
Griglia di supporto per demister	in PP
Sistema di dosaggio reagenti con pompa dosatrice, serbatoio di stoccaggio e sistema di controllo del PH	Presente
Pompe centrifughe	N.6 orizzontali in PP da c.ca 40 m ³ /h (4 per il primo stadio e 2 per il secondo stadio)

Regione Campania - Struttura di missione per lo smaltimento dei rifiuti stoccati in balle Impianto di compostaggio della FORSU da realizzarsi presso il comune di Afragola (NA) - loc. Salicelle Accordo quadro triennale per l'affidamento di servizi di ingegneria in Regione Campania – Lotto 1			PROGETTO DEFINITIVO
Icaria S.r.l.	Quantica ingegneria S.r.l.	Lotti Ingegneria S.p.a.	

Tabella 37. Specifiche pompe di lavaggio

Grandezza	u.m.	Valore
Temperatura di lavoro	°C	-10 +45
Materiali		PP, PTFE, PVDF, PE, FPM
Potenza	KW 50 Hz, 2 poli	5,5
Portata	m ³ /h	50
Tipo pompa		Centrifuga orizzontale
Numero pompe		6 (4 basico + 2 acido)

1.3.3 Dimensionamento del biofiltro

Come si è detto, il progetto prevede n.2 il biofiltri per il cui dimensionamento si faccia riferimento alla seguente tabella, che dimostra come il dimensionamento risulti in linea con le BAT di settore.

Tabella 38. Dimensionamento del biofiltro

Grandezza	u.m.	Valore
Portata complessiva	m ³ / h	360.000
Verifica del biofiltro		
Portata specifica	m ³ m ⁻³ h ⁻¹	80,00
Tempo di contatto	s	45,00
Volume biofiltro necessario	m ³	4.500
Superficie totale di biofiltrazione	m ²	2.888
Altezza biofiltro	m	1,56