scienza attiva®

EDIZIONE 2015/2016
AGRICOLTURA, ALIMENTAZIONE E SOSTENIBILITA'

I trattamento meccanici e biologici dei Rifiuti Solidi Urbani

Giovanni Manca

IREN

CC BY ND

Documento di livello: B

Un progetto di
agorà scienza
centro interuniversitario

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

scienza attiva®

I trattamenti meccanici e biologici dei Rifiuti Solidi Urbani

Testi di riferimento:

- **“Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Treatments Industries” August 2006**

- **Linee Guida recanti i criteri per l’individuazione e l’utilizzazione delle Migliori Tecniche Disponibili ex art 3 comma 2 del decreto legislativo 372/99**
  Al capitolo 5 Impianti di trattamento meccanico e biologico

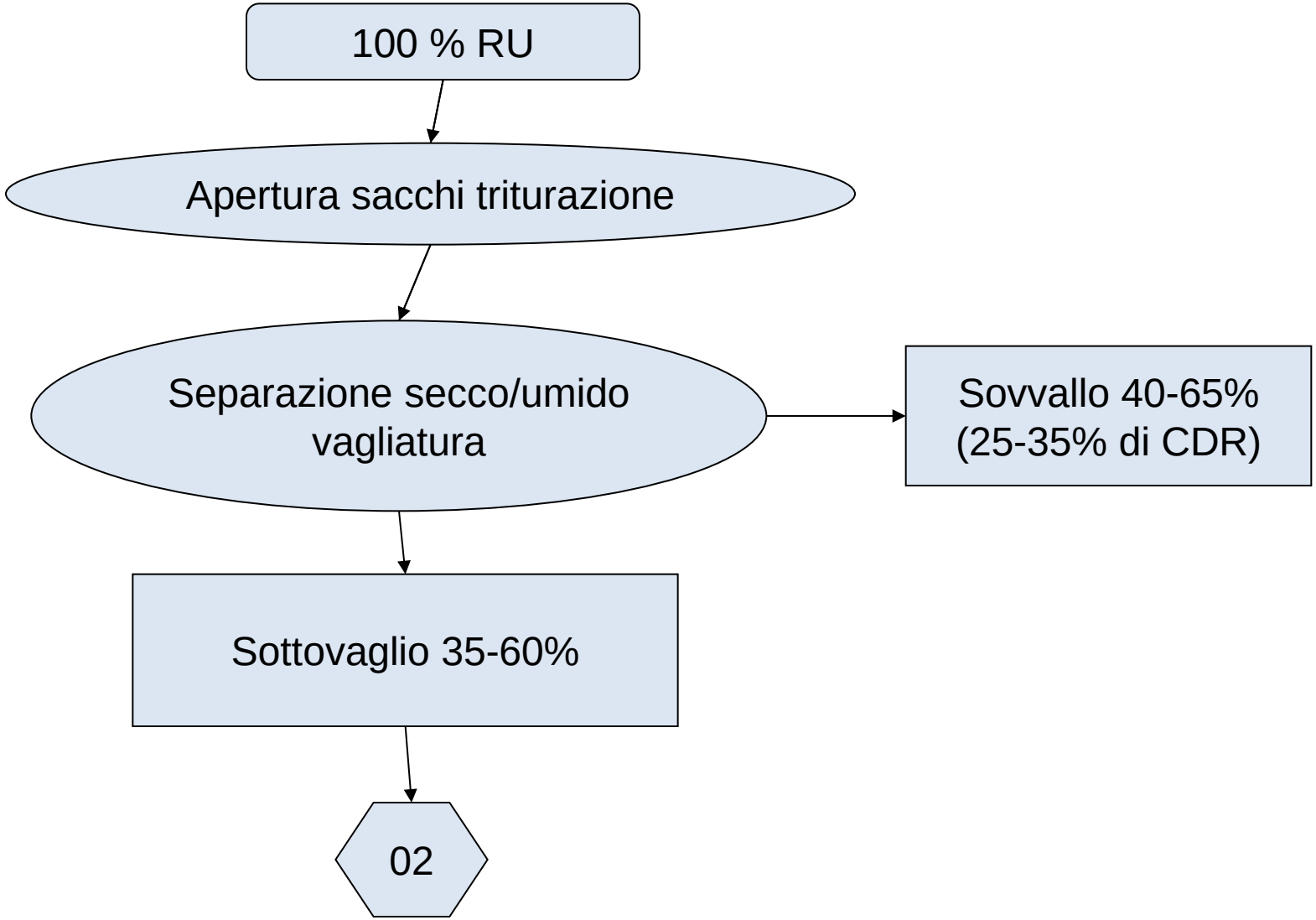
- **Rapporto sulle tecniche di trattamento dei rifiuti urbani in Italia di Federambiente del 2009**

Trattamento Meccanico Biologico TMB

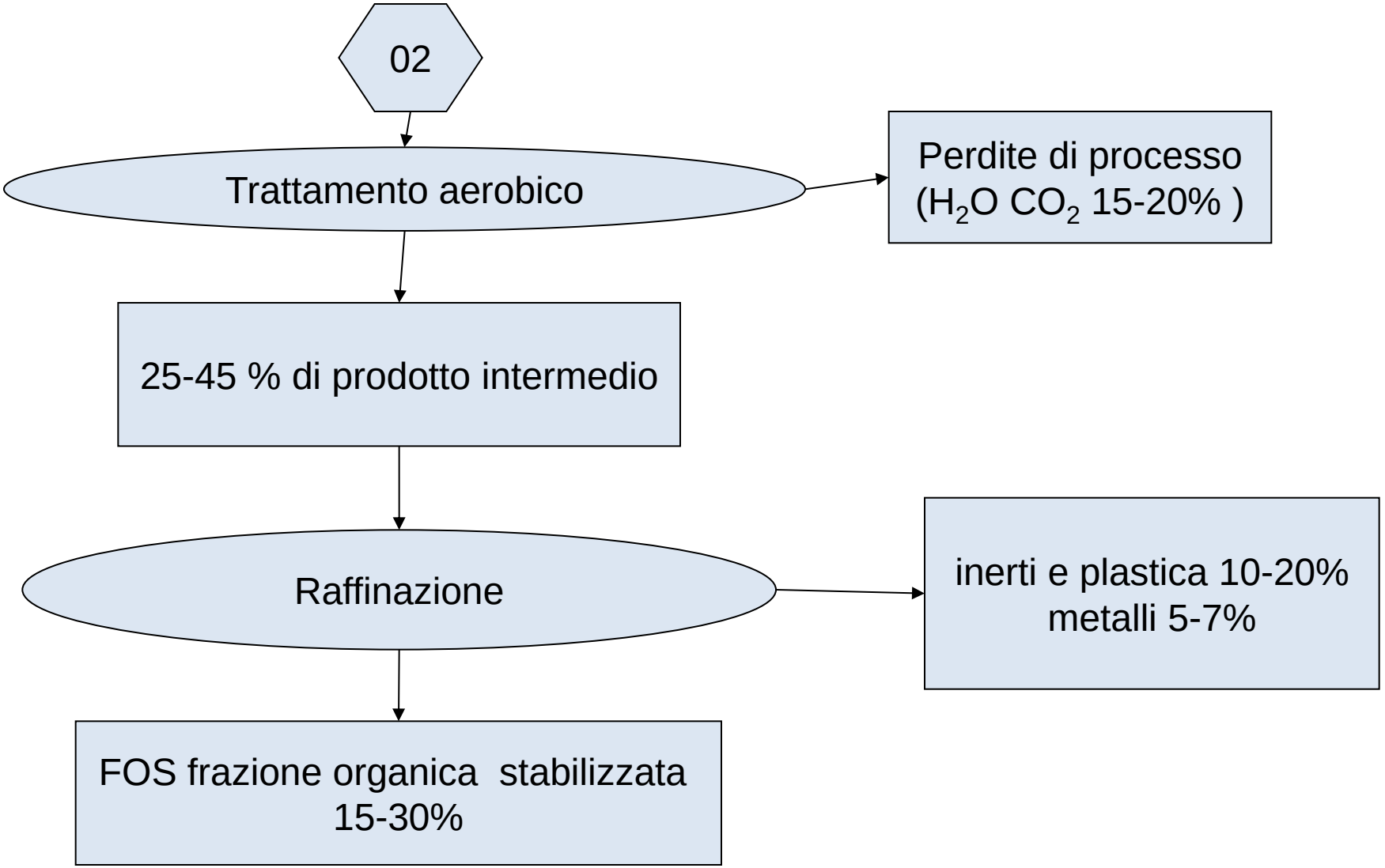
- 2 fasi
  - **trattamento meccanico** (pre / post) : vagliatura, condizionamento
  - **trattamento biologico** con obiettivo di :
    - stabilizzazione ovvero mineralizzazione delle componenti organiche maggiormente degradabili con produzione finale di acqua e biossido di carbonio
    - igienizzazione per pastorizzazione con eliminazione dei patogeni
    - riduzione di volume e massa

- tipologie:
  - **TMB** a flussi differenziati (pretrattamento meccanico divide in due flussi , uno destinato al trattamento biologico ed uno destinato a recupero di materia, recupero energetico o smaltimento)
  - **TBM** a flusso unico (leggero trattamento meccanico – triturazione- e trattamento biologico per tutto il materiale)

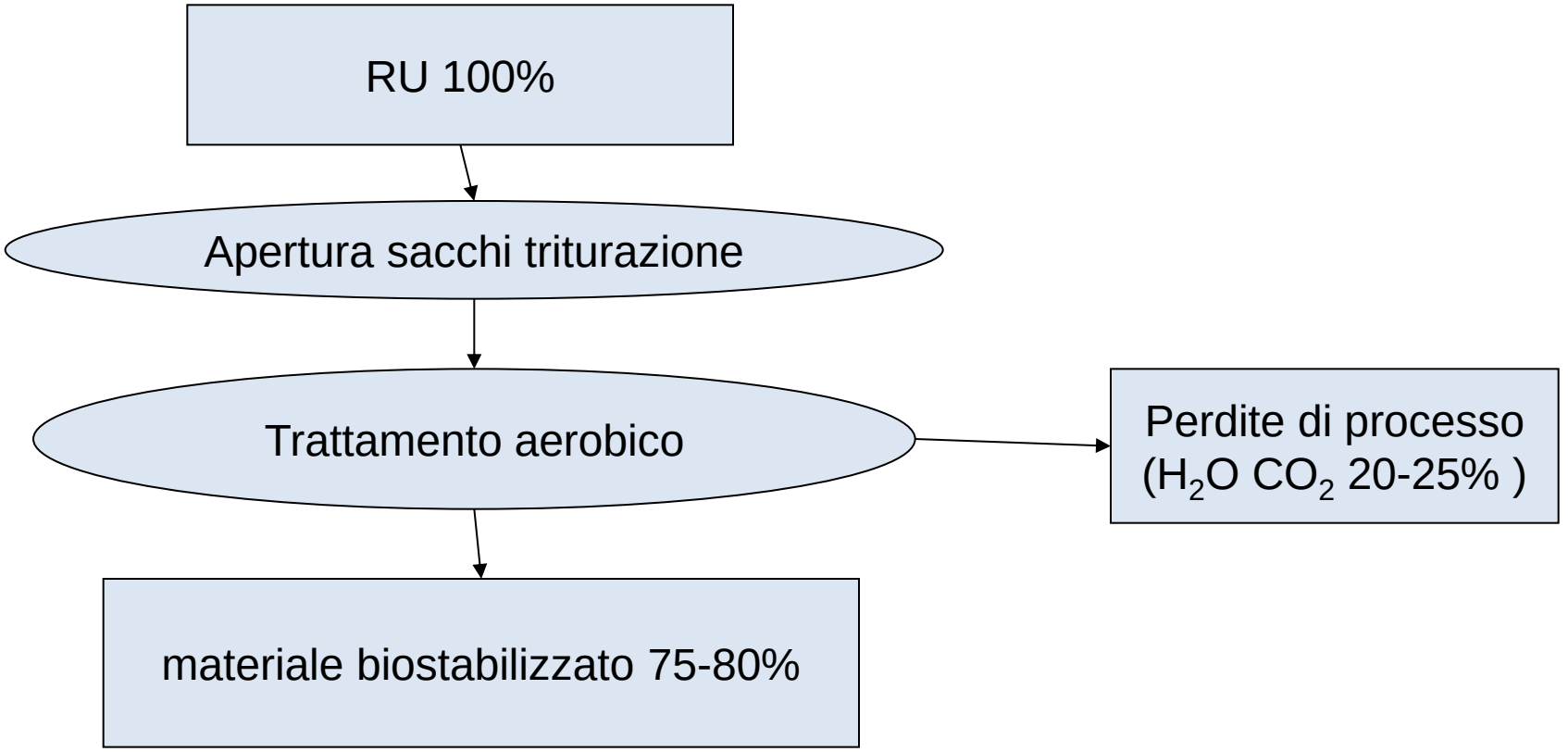
TMB - flussi separati + Biostabilizzazione pag 01/02



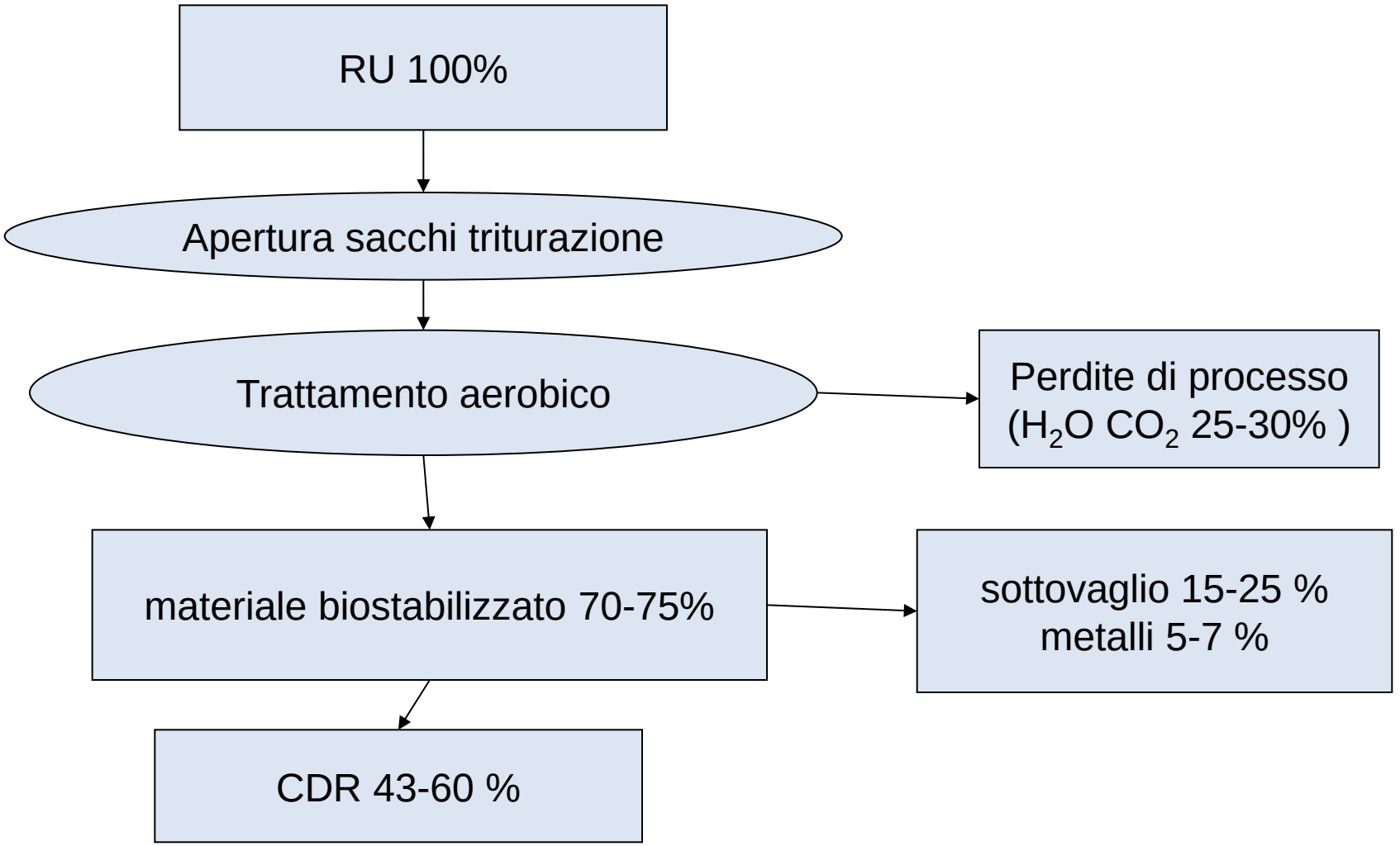
TMB - flussi separati + Biostabilizzazione pag 02/02



Biostabilizzazione / flusso unico



Bioessiccazione



Fasi del TMB

- **Stoccaggio** :
  - garantire fosse/serbatoi di equalizzazione
  - area chiusa con almeno 3-4 ricambi ora
  - purificazione e riutilizzo aria esausta
  - limitare contaminazione aria esausta tramite
    - utilizzo superficie e apparecchi facilmente pulibili
    - utilizzo di sistemi di trasporto “chiusi”
    - minimizzazione dei tempi di permanenza
    - pulizia regolare pavimenti e apparecchi
  - utilizzo di porte a apertura/chiusura rapida e automatica con lame d’ aria oppure con doppie porte di ingresso o di uscita
  - sensibilizzazione del personale
  - per fanghi si utilizzano anche serbatoi fuori terra

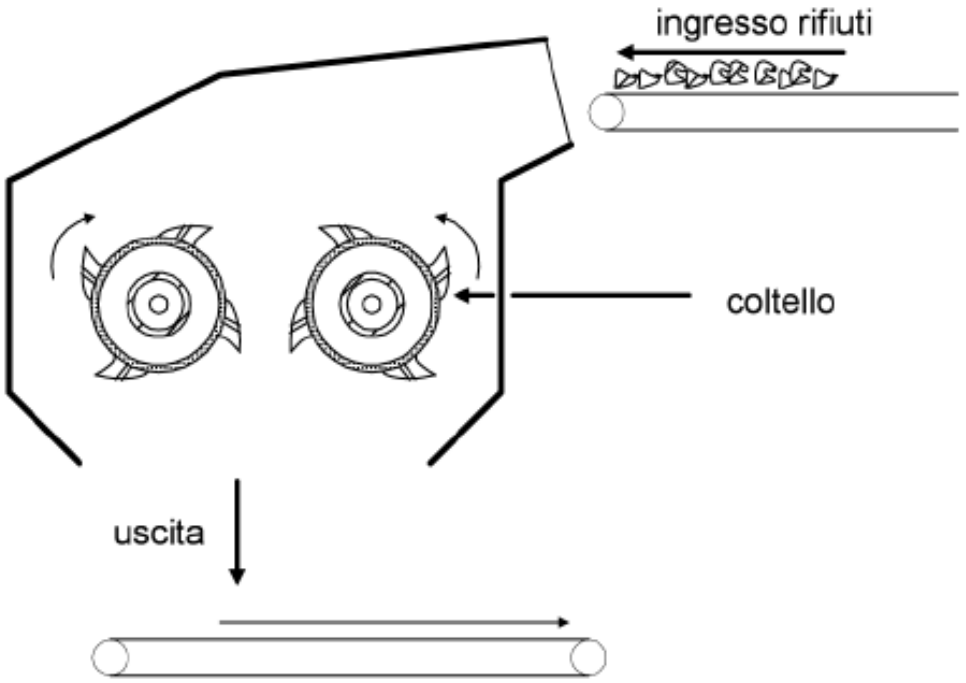
Fasi del TMB

- **Pretrattamenti**
  - per pretrattamento si intendono tutte le fasi necessarie ed antecedenti al trattamento biologico o al trattamento meccanico
  - Tipicamente i pretrattamenti sono:
    - Lacerazione involucri
      - apertura degli involucri e blando sminuzzamento
        - » aprisacchi a tamburo rotante
        - » aprisacchi a lame
    - Triturazione
      - apertura degli involucri se presenti, sminuzzamento (aum. superfici), omogeneizzazione pezzatura
        - » mulini a martelli
        - » mulini a lame
        - » cippatrici
        - » trituratori a coclee
        - » trituratori ad alberi semplici o multipli
        - » trituratori ad alberi a cesoie

Triturazione dei rifiuti

Figura A1
Mulino a coltelli

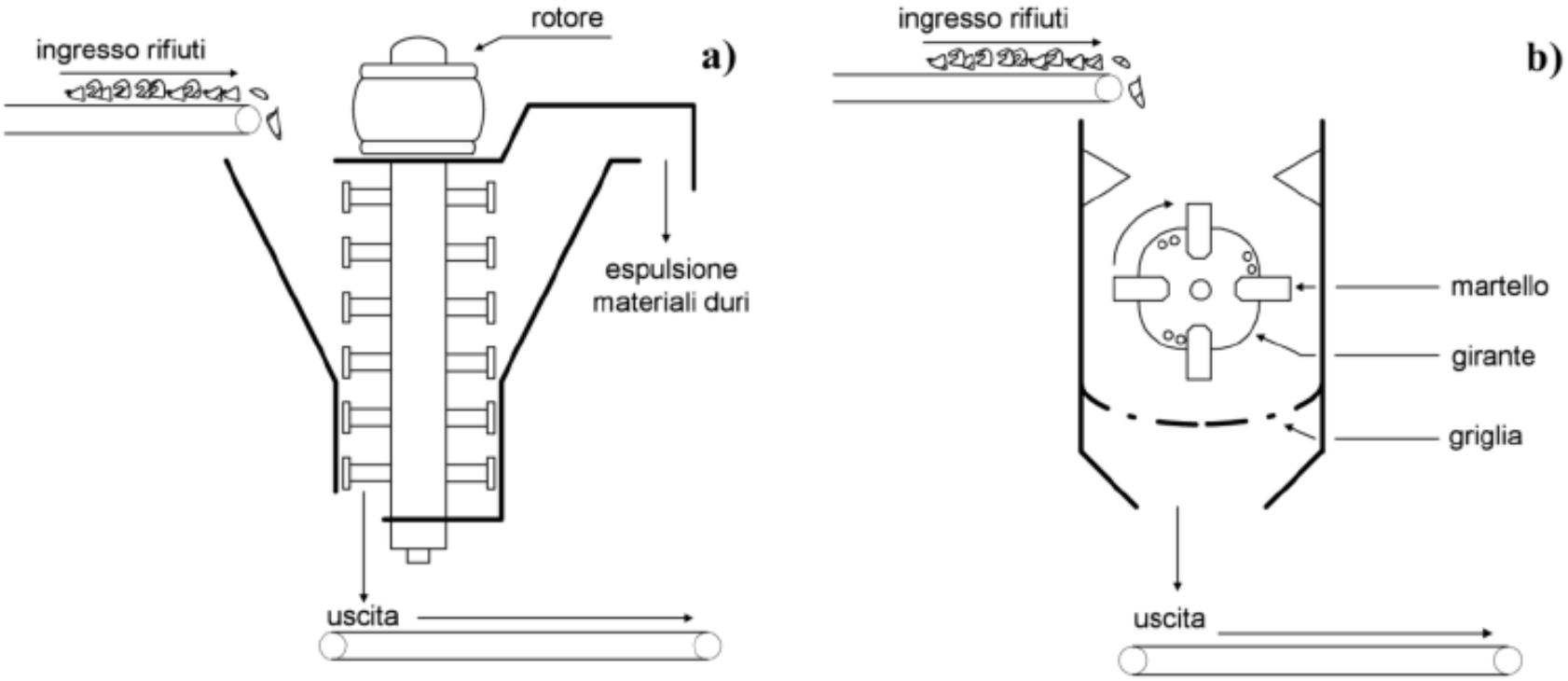
Elaborazione ENEA



Triturazione dei rifiuti

Figura A2
Mulino a martelli verticale (a) e orizzontale (b)

Elaborazione ENEA



Fasi del TMB

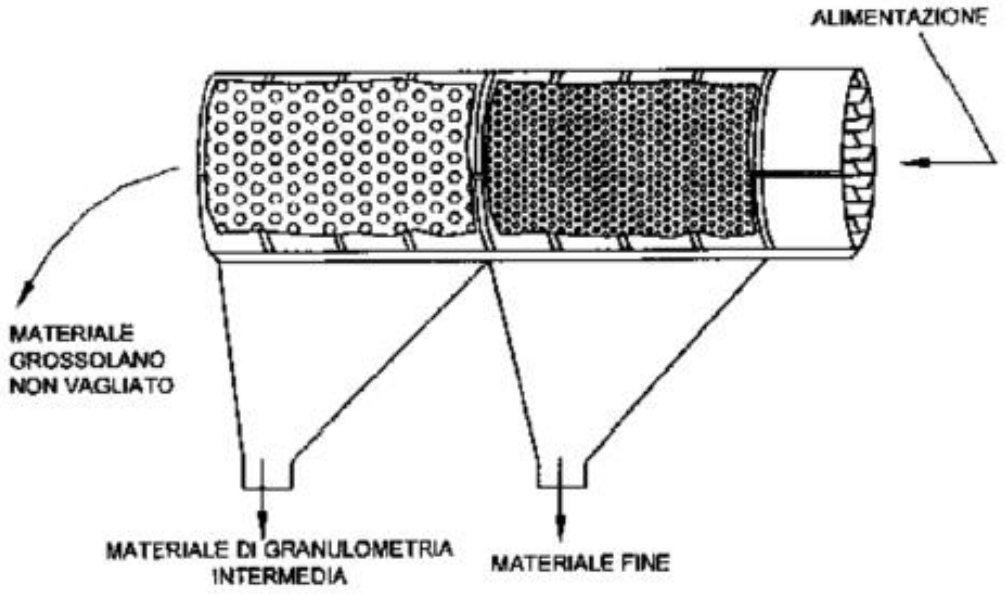
- Miscelazione
  - diminuzione della densità del materiale previa aggiunta di materiale strutturante per aumentare l' aerazione e migliorare i parametri biochimici come C/N e umidità
    - » pale meccaniche
    - » miscelatori a coclee
    - » miscelatori a flange
- Vagliatura
  - separazione del materiale in ingresso in flussi omogeni per dimensioni ed attitudine al trattamento (per RU frazione secca e organica)
    - » vagli rotanti
    - » vagli vibranti
    - » Balistico
    - » aeraulico
- Demetallizzazione
  - rimozione dei metalli ferrosi e non
    - » a magneti permanenti
    - » a elettromagneti
    - » a correnti indotte per non ferrosi

VAGLIATURA

Figura A3

Vaglio a tamburo rotante a doppia maglia

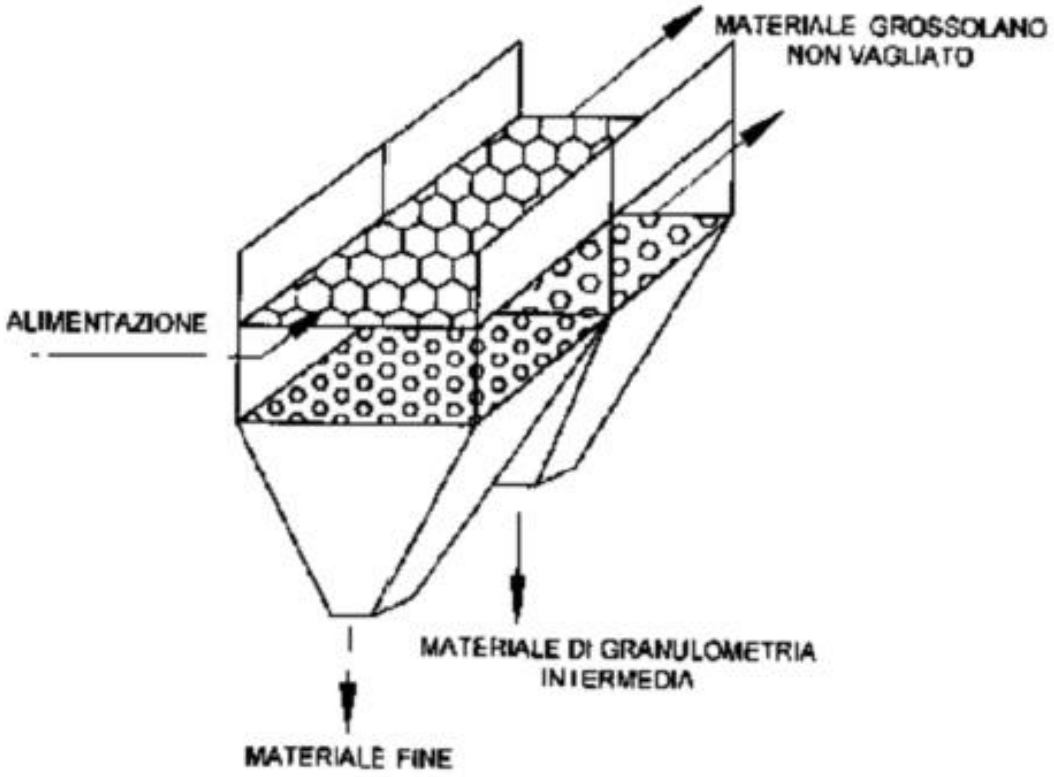
Fonte: Lombardi [A1]



VAGLIATURA

Figura A4
Vaglio vibrante

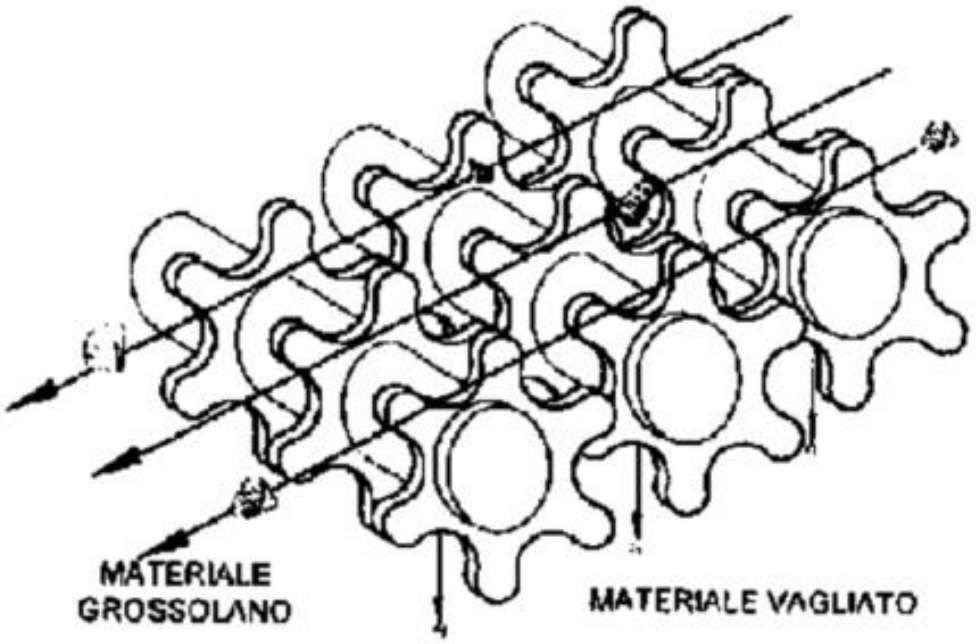
Fonte: Lombardi [A1]



VAGLIATURA

Figura A5
Vaglio a letto di stelle

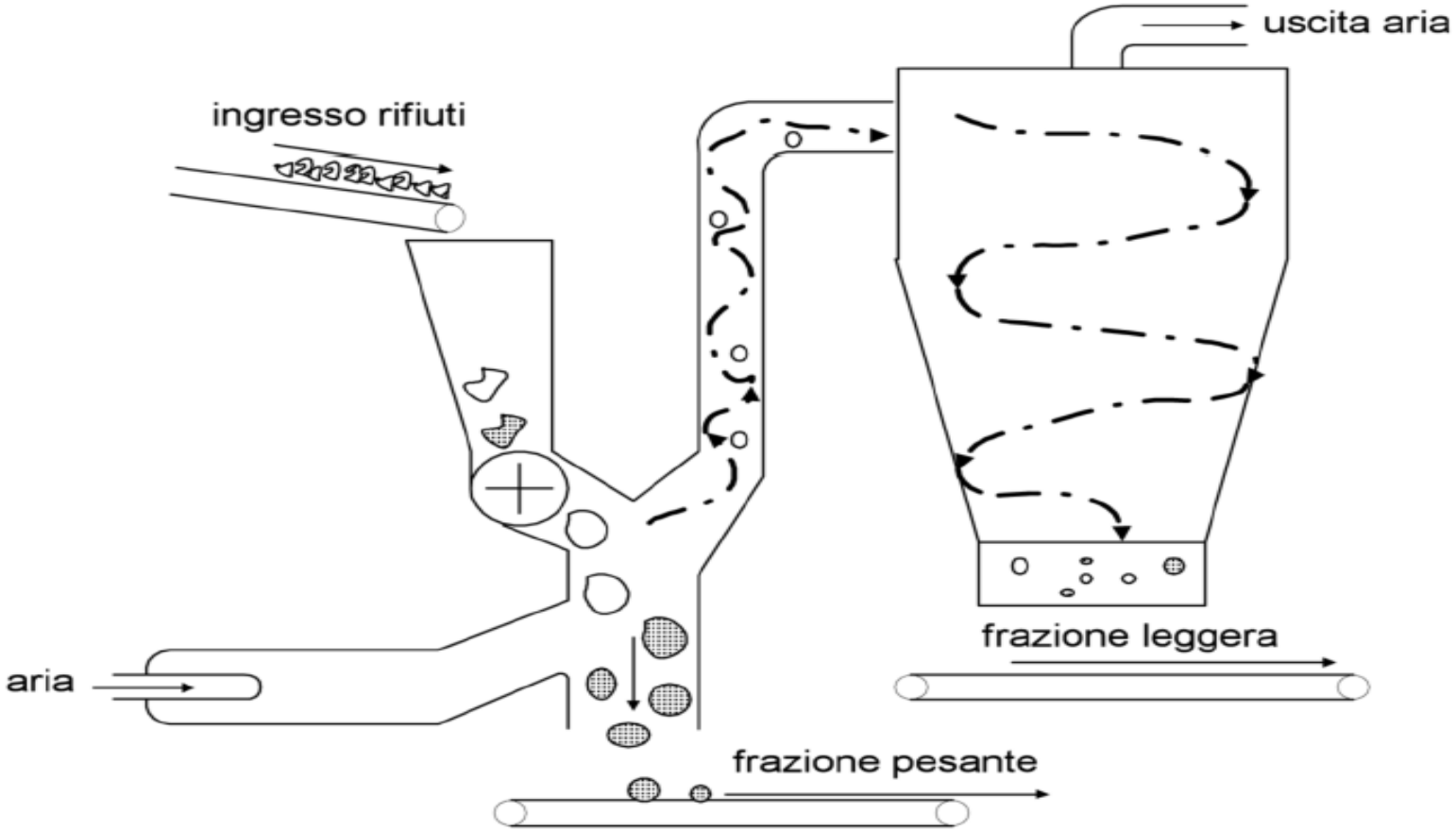
Fonte: Lombardi [A1]



VAGLIATURA

Figura A6
Classificatore aeraulico

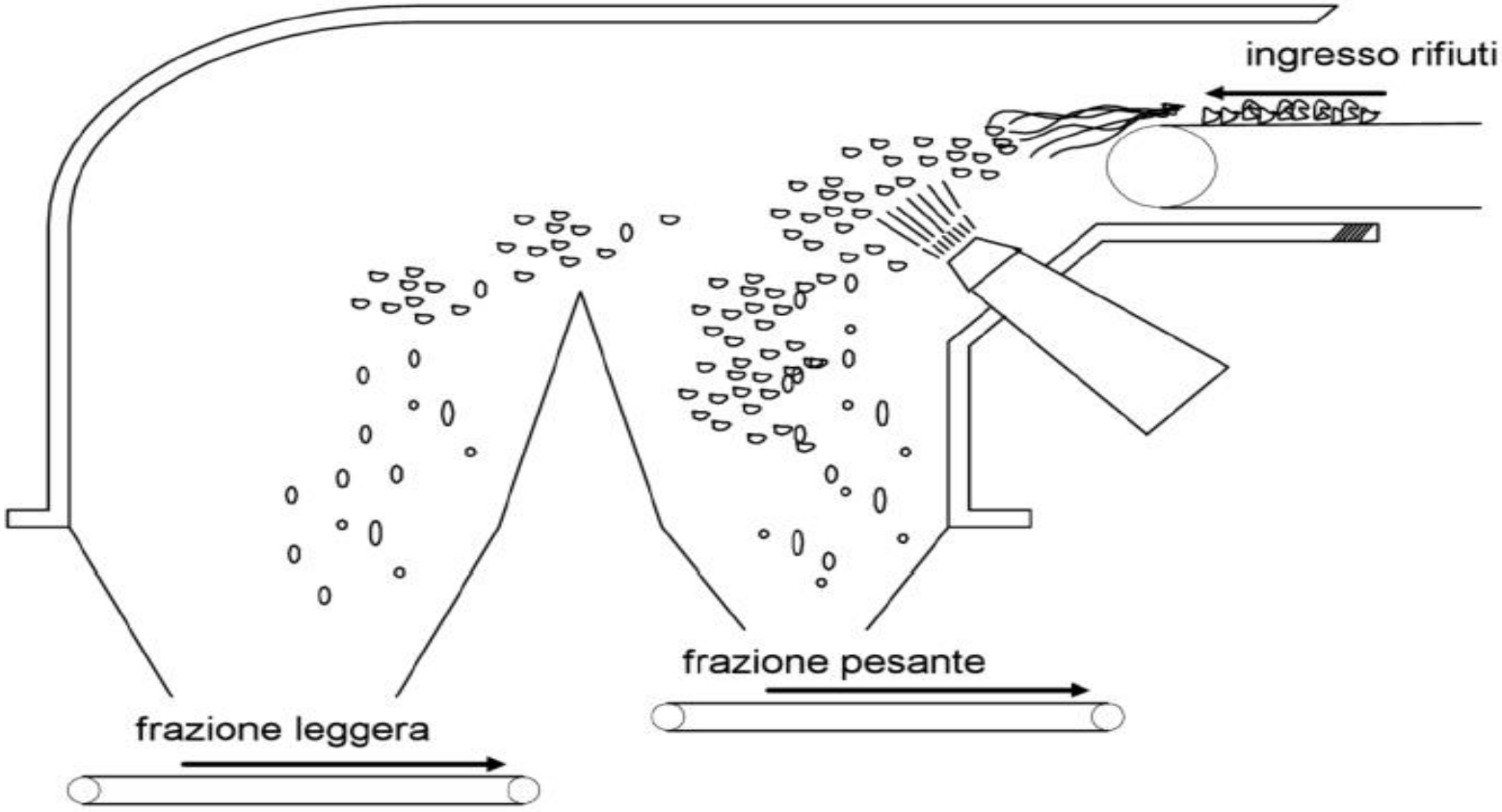
Elaborazione ENEA



VAGLIATURA

Figura A7
Classificatore aeraulico a coltello

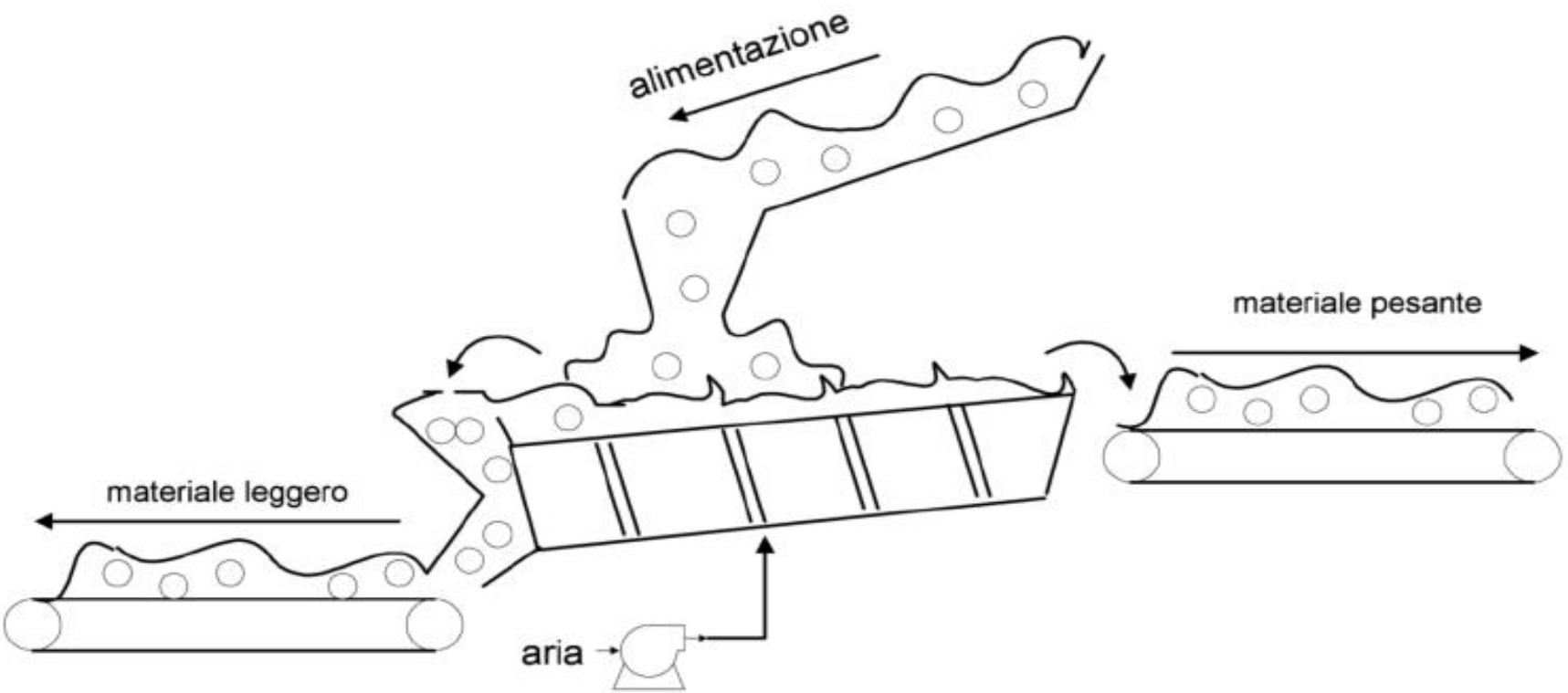
Elaborazione ENEA



VAGLIATURA

Figura A8
Classificatore aeraulico a letto fluido

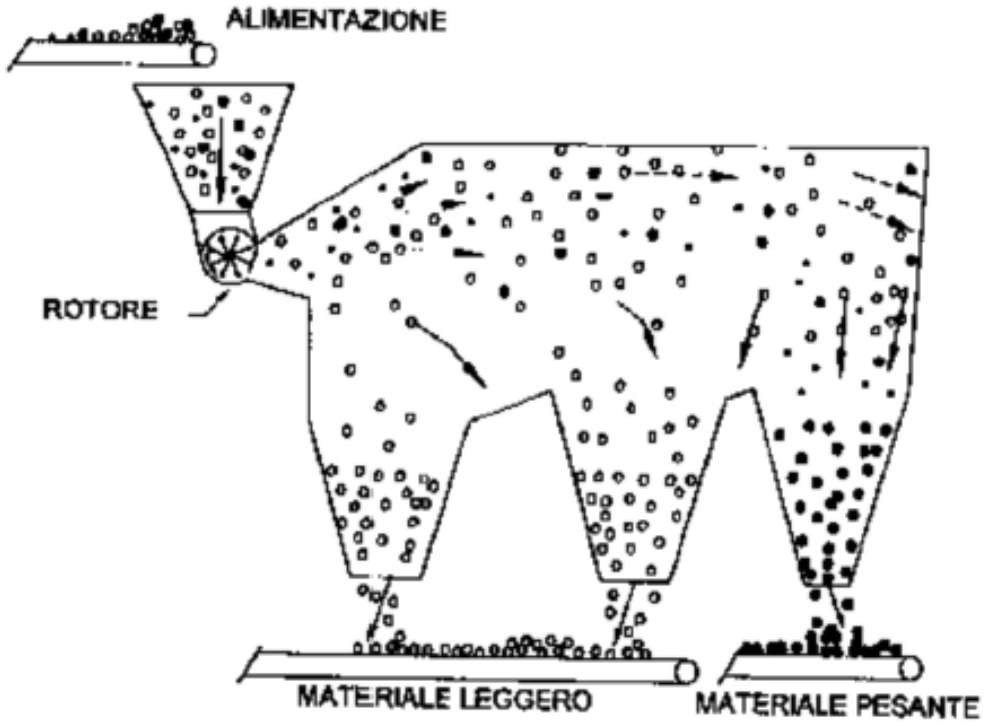
Elaborazione ENEA



VAGLIATURA

Figura A9
Separatore balistico a differenza di densità

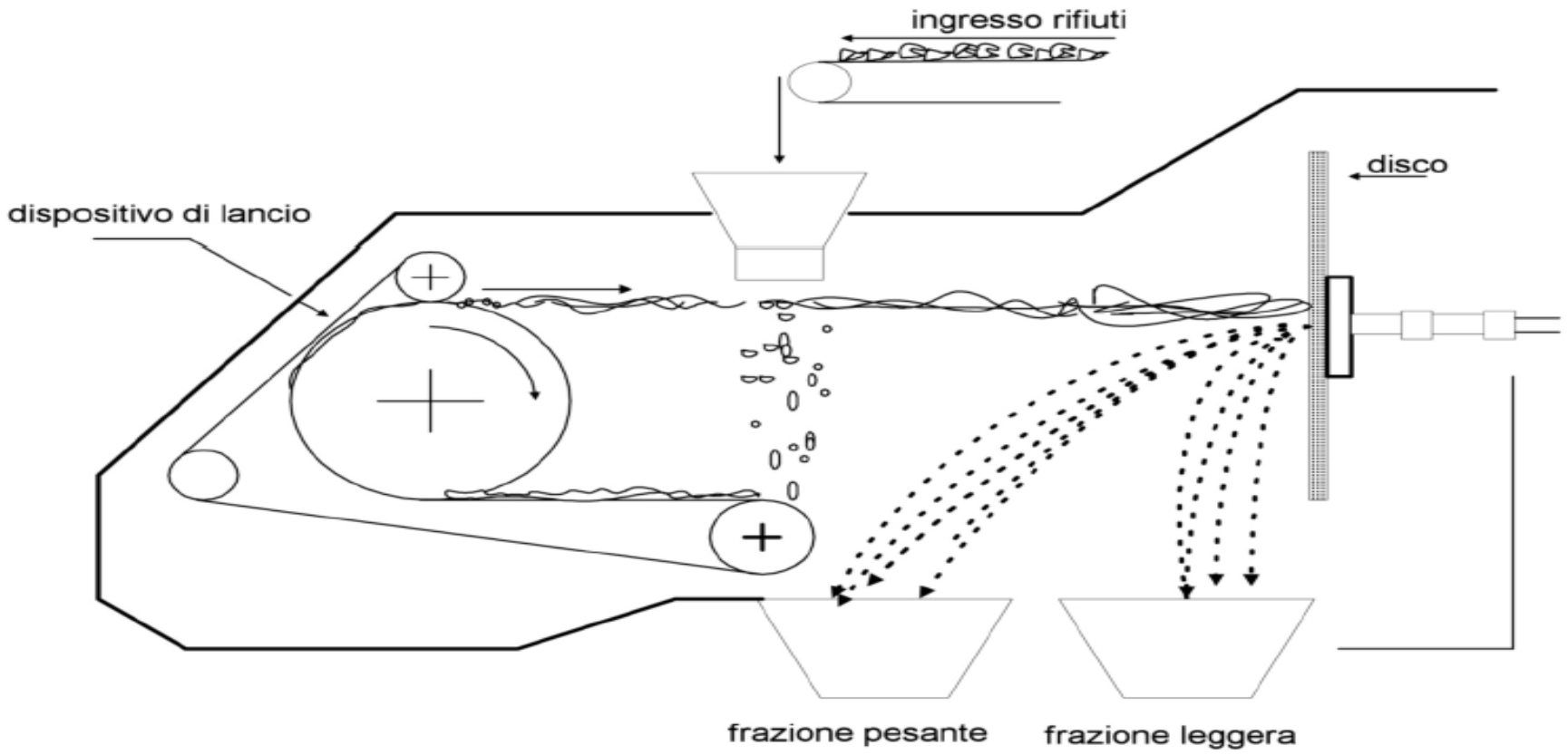
Fonte: Lombardi [A1]



VAGLIATURA

Figura A10
Separatore balistico a differenza di elasticità

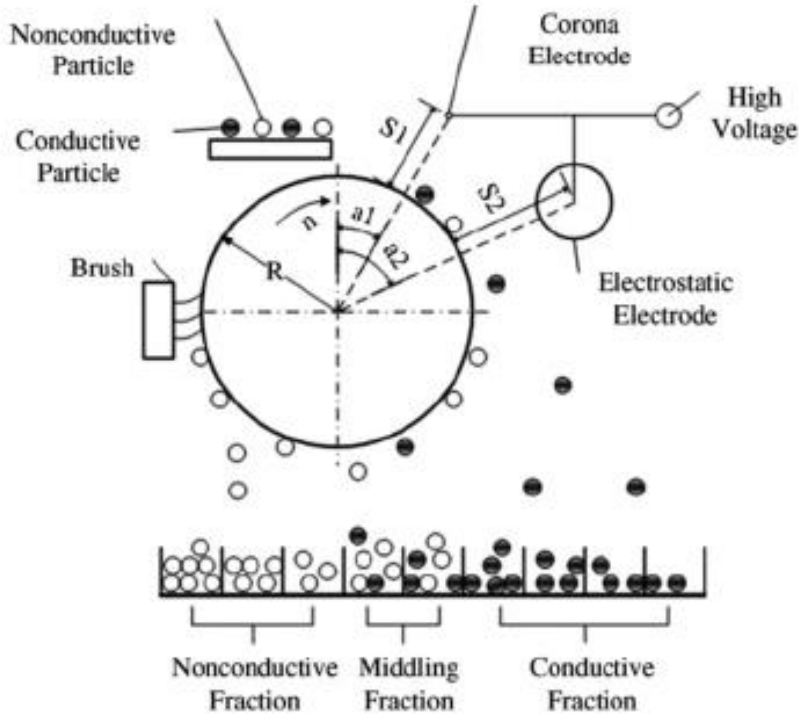
Elaborazione ENEA



VAGLIATURA

Figura A11
Separatore elettrostatico a tamburo

Fonte: Xu et al. [A2]

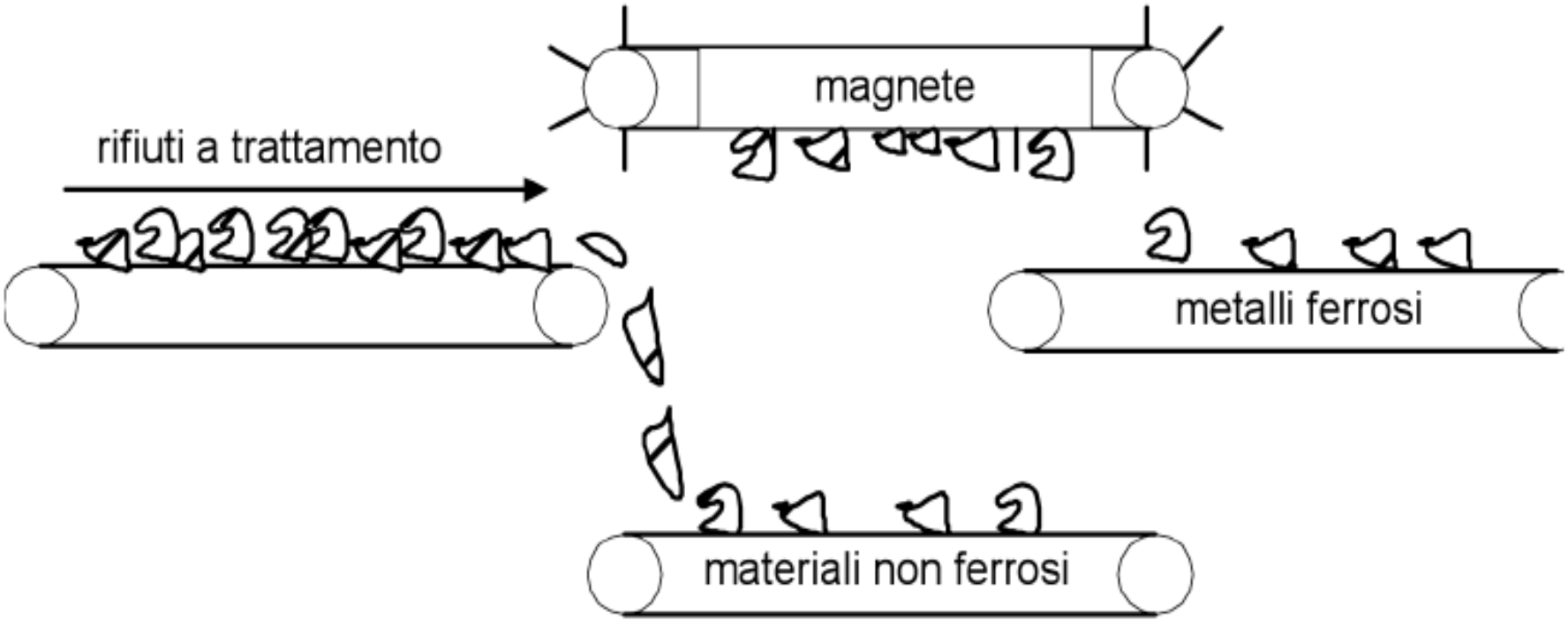


SEPARAZIONE DEI METALLI

Figura A12

Separatore magnetico a nastro

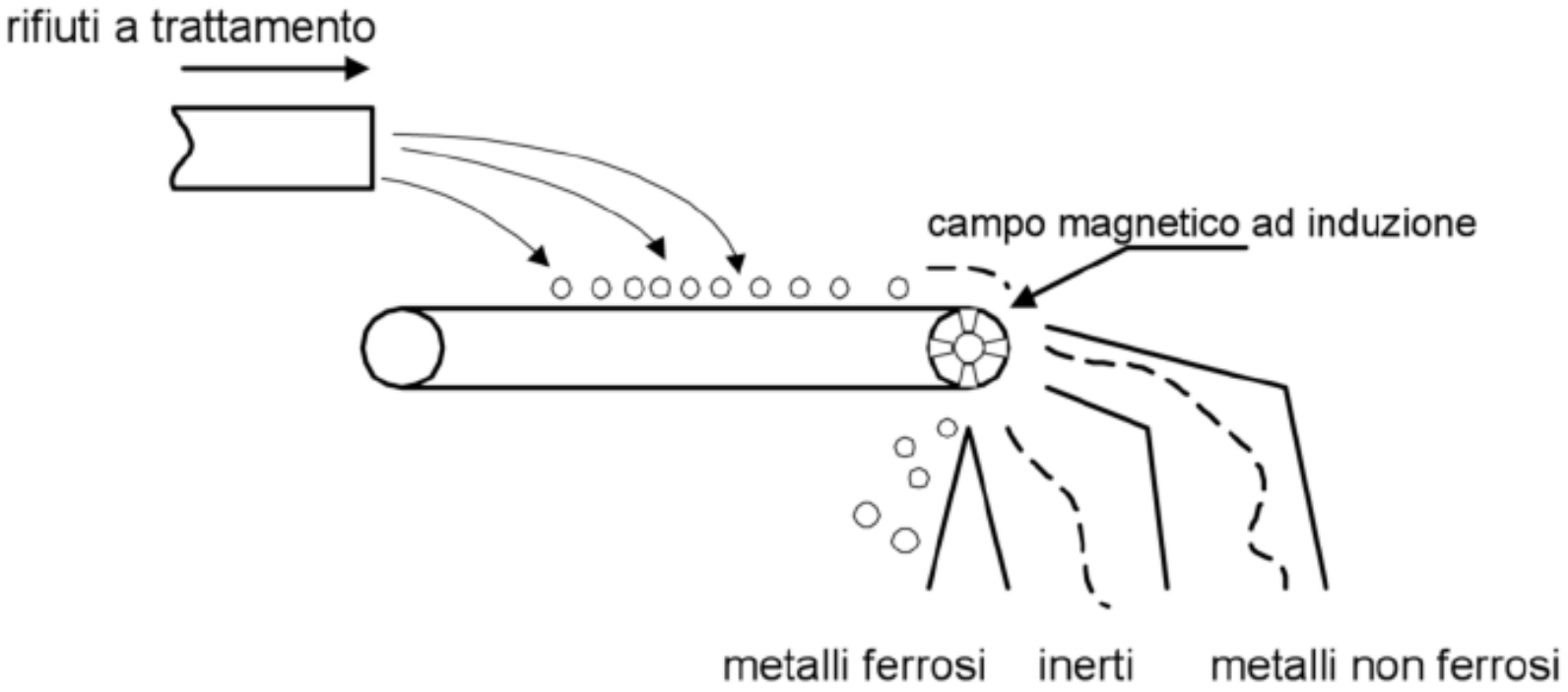
Elaborazione ENEA



SEPARAZIONE DEI NON-METALLI

Figura A15
Separatore a rullo induttore

Elaborazione ENEA



LA SEPARAZIONE A LETTURA OTTICA

La separazione a lettura ottica

I sistemi di separazione a lettura ottica sono presenti nei più moderni impianti di trattamento di post raccolta differenziata; ad essi è demandato il compito di separare la carta dalla plastica e di selezionare la plastica per colore e tipologia, quali il PET impiegato per le bottiglie e l'HDPE (polietilene ad alta densità per i tubi e i contenitori). Il materiale eterogeneo in movimento su di un nastro trasportatore viene colpito da un fascio di luce emesso da una lampada alogena provocando a sua volta una luce riflessa ricadente nello spettro di frequenze dell'infrarosso. Uno specifico software permette di risalire alla tipologia, al colore e alla forma di ogni materiale, a partire dall'analisi dello spettro di frequenze riflesso. Una volta identificata la tipologia di rifiuto, il sistema attiva un getto d'aria che lo espelle dal nastro trasportatore per indirizzarlo su di una linea di trattamento dedicata o in un contenitore-raccoglitore.

Lo sviluppo di questi sistemi ha avuto luogo negli anni '90 da parte del Sintef, un centro di ricerca norvegese che ha messo a punto la separazione ad infrarossi per conto di un'azienda produttrice di imballaggi; esso si è diffuso da prima in Germania e successivamente nel resto d'Europa.

Schema di principio di **biotrasformazione aerobico**

Figura 3.2.4

Schema di principio di TMB di biostabilizzazione a singolo (a) e doppio stadio (b)

Elaborazione ENEA

Processo biologico di **biotrasformazione aerobico**

- **Processo aerobico**
  - fattori guida:
    - concentrazione di ossigeno ed aerazione
    - temperatura
      - pastorizzazione (min 3 giorni a t > 55 °C)
      - condizioni mesofite (max attività microbica) 40-50 °C
    - umidità (né poca per alimentare le attività microbiche né molta per ostruire flusso ossigeno)
    - controllo odori
  - aerazione:
    - naturale o forzata
    - apporto di ossigeno per impedire fasi anaerobiche
    - drenaggio del calore
    - trasporto odori

Trattamenti biologici aerobici

Contenere i processi anaerobici per cui garantire costante afflusso di ossigeno

- cumuli con rivoltamento della biomassa substrato
  - materiale in lunghe andane alte da 1 a 3 m; dimensione come compromesso per garantire un corretto afflusso di ossigeno tramite le porosità (tendenza verso il piccolo) e un regime termico adeguato con basse dispersioni (tendenza verso il grande)
  - rivoltamento produce anche sminuzzamento con aumento delle superficie attive
  - processo disomogeneo tra un rivoltamento e l' altro (cala afflusso di ossigeno);
  - frequenza dei rivoltamenti a calare durante il processo (da giornalieri a settimanali)
  - volume in riduzione con possibile aggregazione di andane per garantire il livello termico
  - processo dura da 4 a 9 settimane (+ rivoltamenti – tempo)
  - macchine operatrici: da pale meccaniche a portali semoventi

Cumuli rivoltati

Figura A24

Sistema a cumuli rivoltati per trasferimento

Fonte: Sutco [A4]

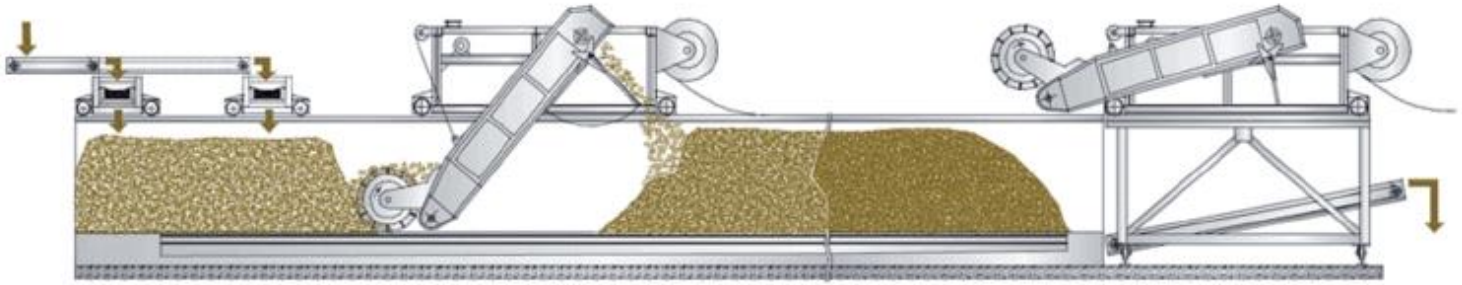


Figura A25

Sistema a cumuli rivoltati per movimentazione

Fonti: Zanella [A3], Danieli [A5]

Fasi del TMB

Trattamenti biologici aerobici:

- cumuli statici aerati

  - aerazione passiva
    - tramite tubi bucherellati immersi con estremità in atmosfera; tiraggio naturale per delta T
    - cumuli bassi con ricoprimento antiodore (paglia o torba) che serve anche da coibente termico
    - cura nella disposizione del cumulo

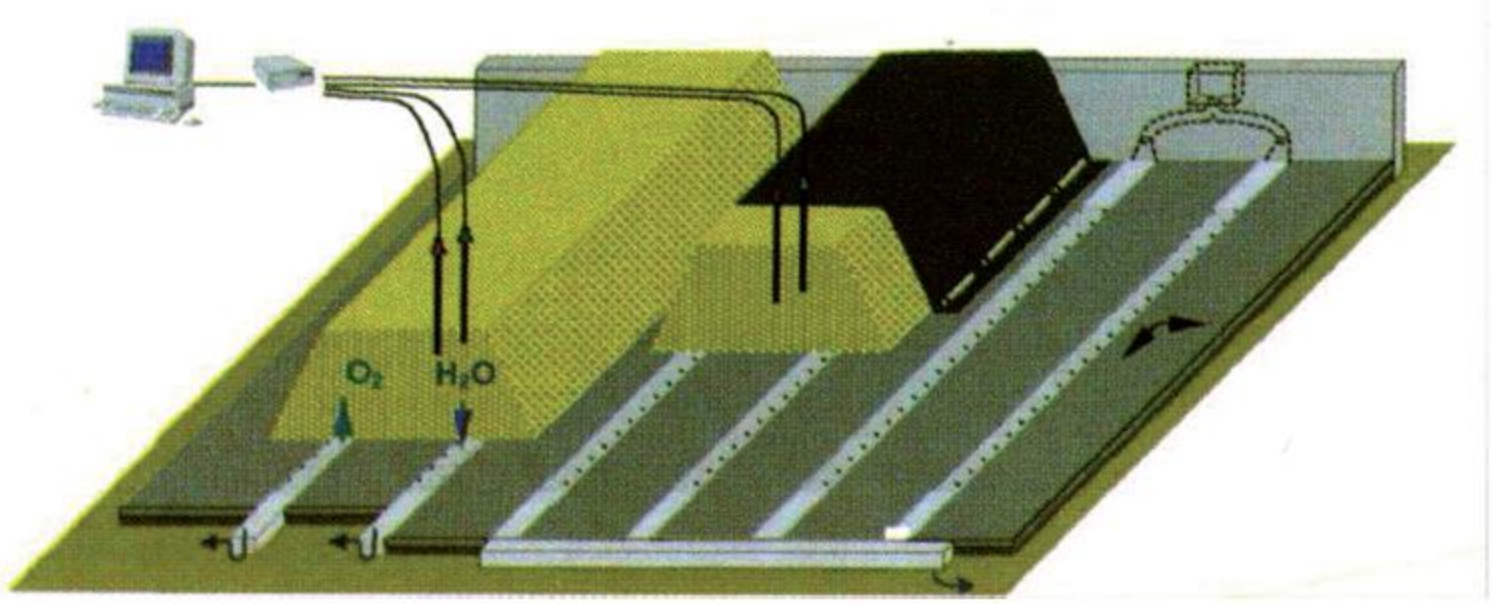
  - aerazione forzata
    - aria fornita tramite aspirazione ovvero insufflazione; miglior controllo del processo
    - cumuli di media altezza
    - aspirazione ha problemi con aria fredda esterna (condensazione dell' umidità con ristagni anaerobici)
    - insufflazione con controllo migliore e strato esterno antiodore (10 cm di compost maturo); processo continuo (problemi alle masse vicine all' immissione per essiccazione anticipata) e discontinuo (miglior equalizzazione delle temperature nelle pause , mai sup. a 30 min.);
    - processo regolato con rilievo di temperatura in situ: a 55 °C partono le soffianti (massima attività biologica > massima richiesta di ossigeno) poi stop a t più basse e ripartenza ciclo ON/OFF fissato fino a 55 °C (vantaggio anche nella disattivazione dei patogeni) ; ciclo di 3-4 settimane

Cumuli statici aerati

Figura A23

Sistema di trattamento a cumuli statici

Fonte: Zanella [A3]

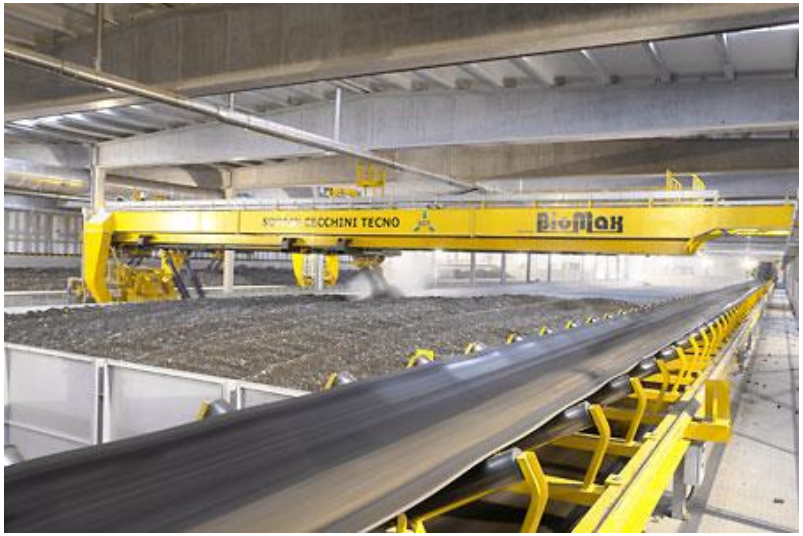


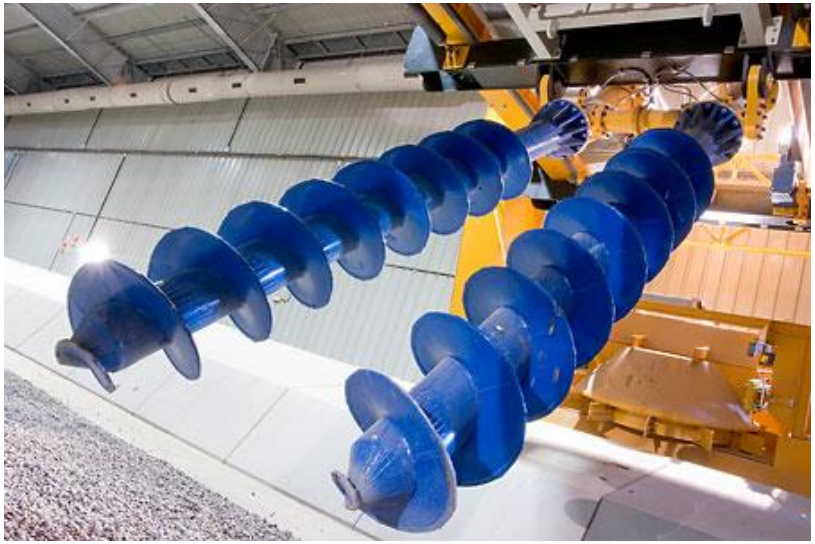
Fasi del TMB

Trattamenti biologici aerobici

- **bioreattori**
  - trincee dinamiche aerate (letti agitati)
    - lung 25-30 m larg 3-4 m pareti 1,5-3 m
    - tempi di ritenzione da 3 a 5 settimane
    - macchina rivoltatrice automatica che opera dall' alto su un lato delle vasche; ad ogni rivoltamento c' è anche un avanzamento della massa verso lo scarico
    - canalette per insufflazione dell' aria sul pavimento della vasca, divise in sezioni per tener conto della diversa maturazione della massa lungo la vasca e regolare l' afflusso di aria
    - adeguato per materiali ad alta umidità e per compost di elevata qualità

bioreattori





Fasi del TMB

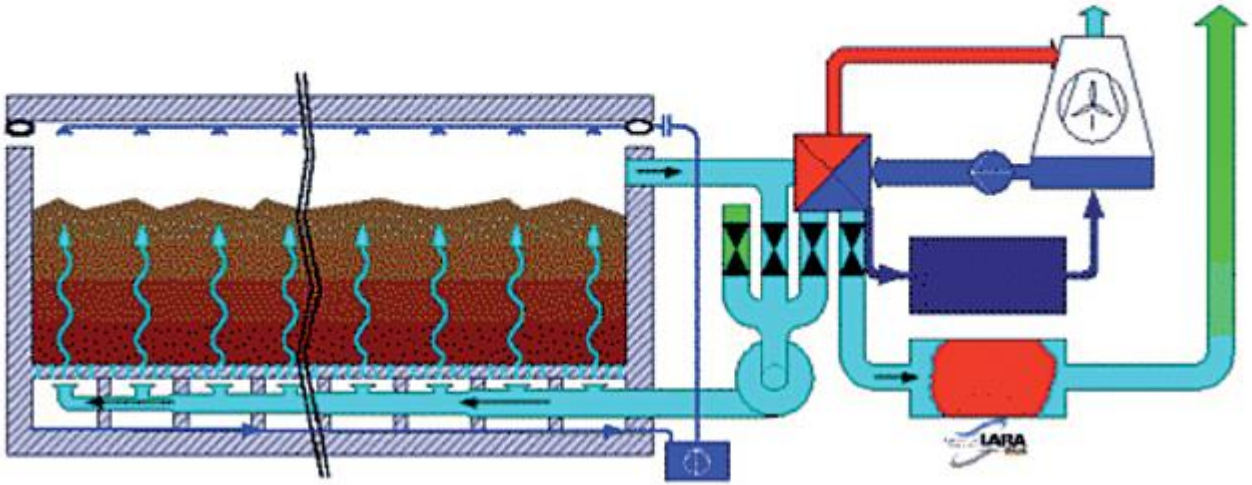
Trattamenti biologici aerobici

- **bioreattori**
  - chiusi (cilindri rotanti, silos, biocelle) o aperti (trincee dinamiche aerate)
  - processo incompleto che necessita di cumulo successivo
    - **cilindri rotanti** diametro 3m lunghezza fino a 35 m cumulo di circa 50 t residenza di circa 3 giorni; processi decomposizioni accelerati
      - » aria in controcorrente
      - » possibili setti lungo il percorso
      - » t di processo > di 55 °C ; buona eliminazione dei patogeni
      - » sistema costoso e con pochi benefici
    - **biocella**
      - » contenuto da 30 a 60 m3 di massa
      - » ciclo di 7-12 giorni con ricircolo di aria da griglia sul pavimento;
      - » cura nella preparazione della massa (sistema statico)
      - » successiva fase in cumulo di 9-10 settimane

Biocelle aerobiche

Figura A26
Schema di reattore a biocella

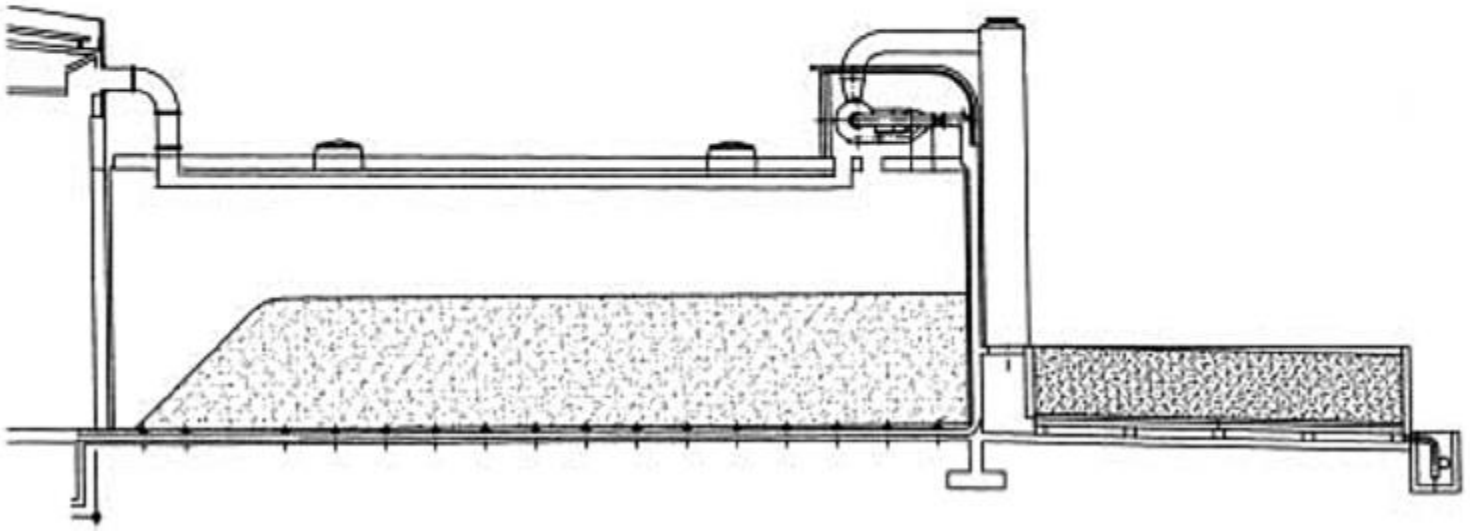
Fonte: Ladurner [A6]



Biotunnel aerobiche

Figura A29
Schema di biotunnel

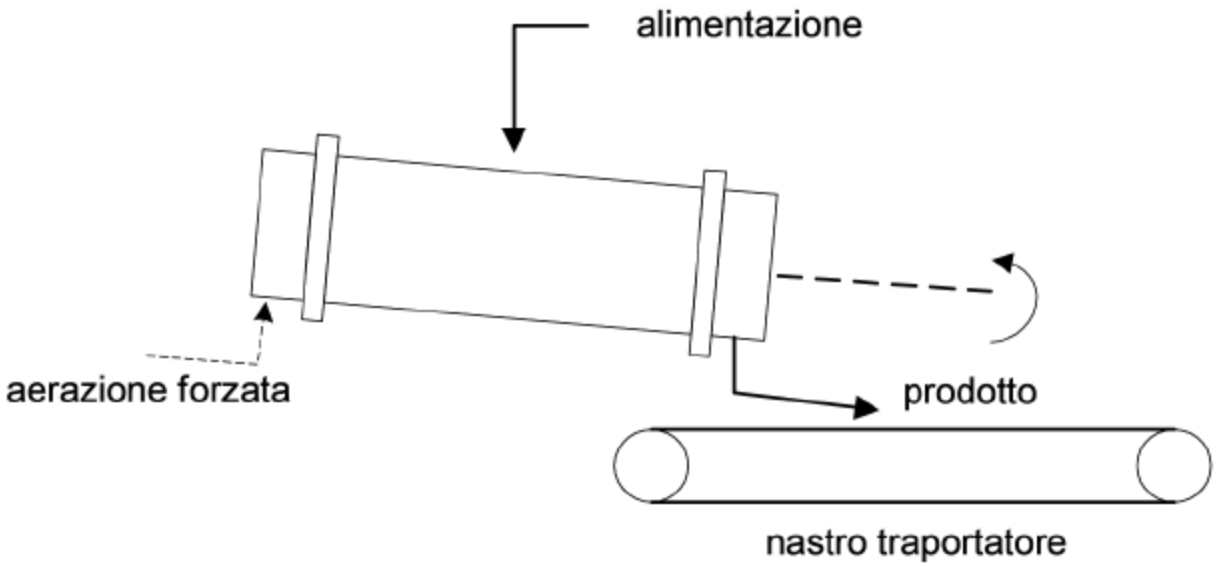
Fonte: AIMAG [A9]



Reattore a cilindro aerobico

Figura A30
Schema di reattore a cilindro

Elaborazione ENEA



Fasi del TMB

Post-trattamenti

PROCESSO AEROBICO

- raffinazione dello stabilizzato
  - separazione corpi estranei o non decomposti
    - » raffinazione dimensionale
    - » vagliatura densimetrica
    - » vagliatura aeraulica
  - qualificazione del prodotto
    - » essiccazione
    - » pellettizzazione
    - » granulazione

Processo biologico di **biotrasformazione anaerobico**

Processo anaerobico

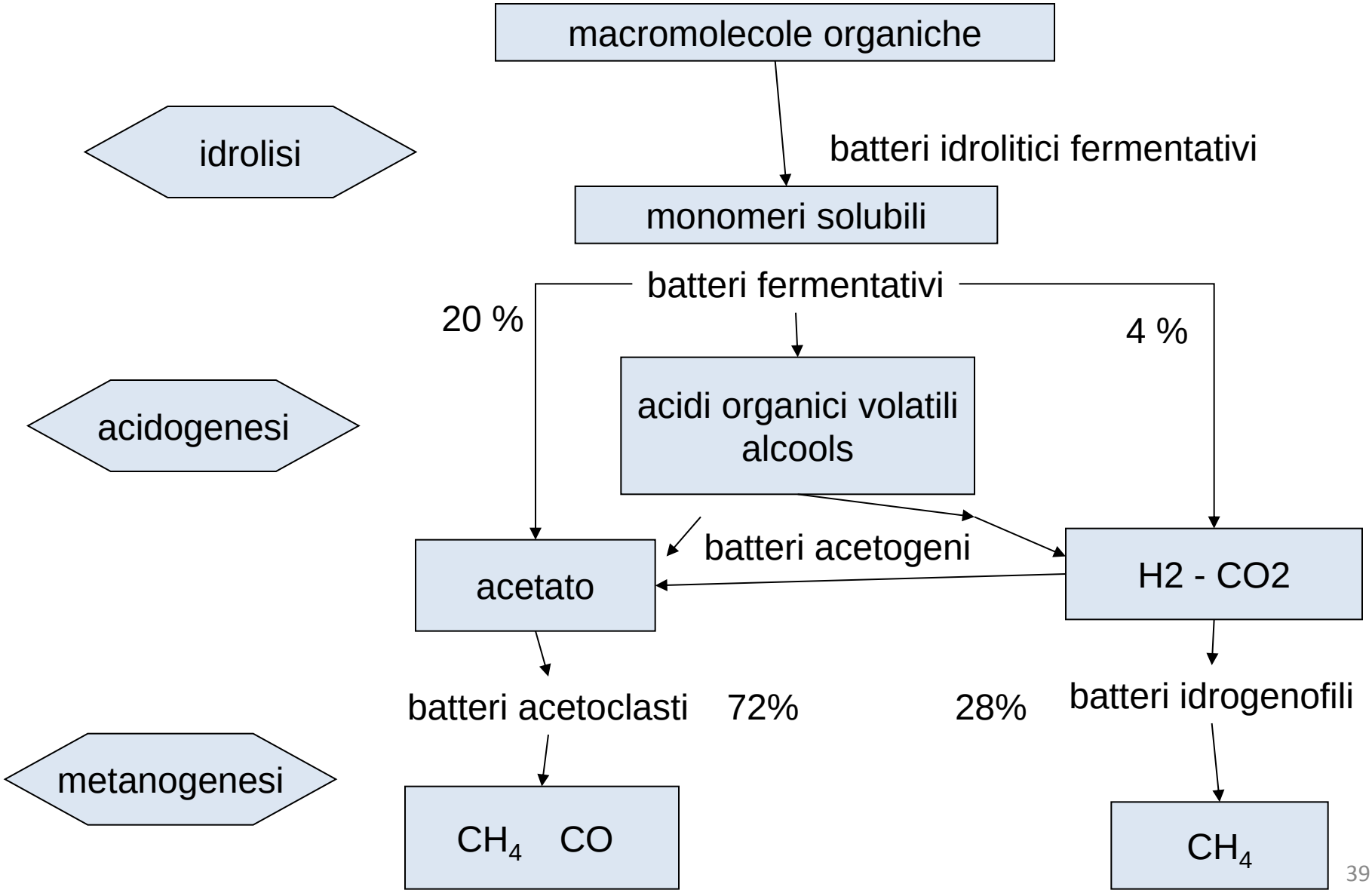
- per digestione anaerobica si intende il processo biologico di stabilizzazione (riduzione del contenuto di carbonio o C/N) di un substrato organico putrescibile condotto in uno o più reattori controllati in assenza di ossigeno attraverso idrolisi - acidogenesi - metanogenesi

- riduzione della parte volatile di almeno 50 % con produzione di CH_4 e CO_2 (a volte anche NH_3 dalle proteine)

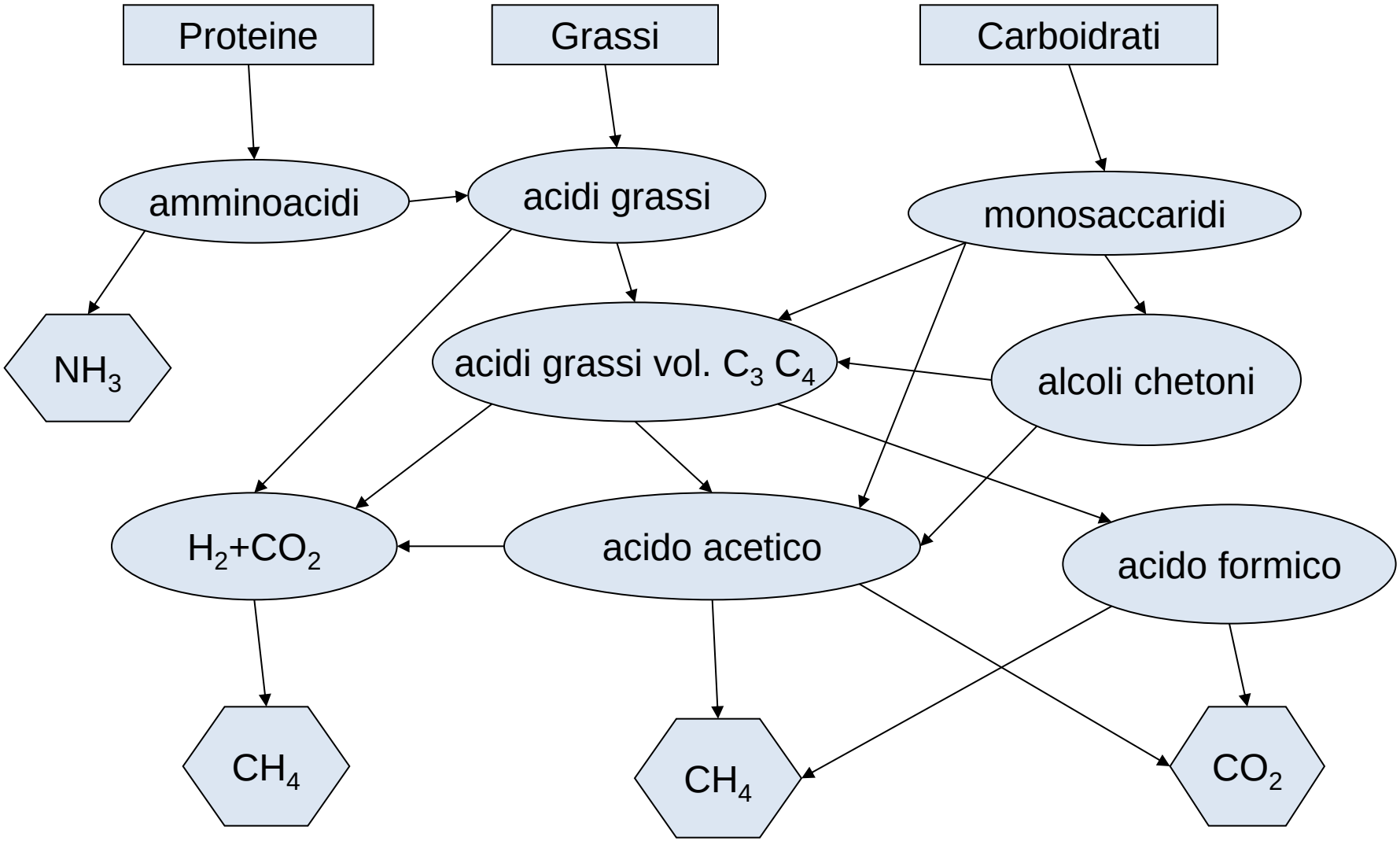
Processo biologico di **biotrasformazione anaerobico**

- Processo anaerobico o digestione anaerobica:
  - Regime termico :
    - psicrofilia (20 °C) poco diffuso
    - mesofilia (35-37 °C)
    - termofilia (55 °C ed oltre)
  - Contenuto di solidi nel reattore
    - wet (S.S. 5-10%)
    - semi-dry (S.S. 10-20%)
    - dry (S.S. 20 %)
  - Biofasi:
    - unica (tutto in un unico reattore)
    - separate (idrolisi e fermentazione in ambienti separati da metanogenesi)
  - Modalità di alimentazione del digestore:
    - Continuo
    - Batch

Processo biologico di **biotrasformazione anaerobico**



Processo biologico di biotrasformazione anaerobico



Processo anaerobico di tipo wet

Sostanza Secca : 5 - 10 %

- Vantaggi e svantaggi:
  - criterio tecnologico :
    - + buona conoscenza ed esperienza nel campo del processo
    - + applicabilità in codigestione con rifiuti liquidi ad alto contenuto di sostanza organica
    - - cortocircuitatine idraulica
    - - fasi separate per materiale pesante e galleggiante
    - - abrasione delle parti meccaniche per presenza di sabbie ed inerti
    - - pretrattamenti complessi
  - criterio biologico :
    - + diluizione dei picchi di concentrazione di substrato – sostanze tossiche influenti il reattore
    - - alta sensibilità a shock per presenza di sostanze inibitorie e carichi organici variabili che entrano in intimo contatto con la biomassa
    - - pretrattamenti con perdita di sostanza organica biodegradabile

Processo anaerobico wet

- Vantaggi e svantaggi:
  - criterio economico ed ambientale :
    - + sistemi di pompaggio e miscelazione economici
    - - elevati investimenti per apparecchi di pretrattamento e volumi reattori
    - - produzione di elevate acque di processo

Processo anaerobico semi dry

Sostanza Secca : 10 - 20 %

- Vantaggi e svantaggi:
  - criterio tecnologico :
    - + semplicità dei sistemi di pompaggio e miscelazione
    - + rifiuto da RD trattabile senza pretrattamenti
    - - accumulo di inerti sul fondo con necessità di scarico
    - - abrasione delle parti meccaniche
    - - pretrattamenti complessi per RSU indifferenziato
  - criterio biologico :
    - + diluizione dei picchi di concentrazione di substrato – sostanze tossiche influenti il reattore
    - - sensibilità a shock per presenza di sostanze inibitorie e carichi organici variabili che entrano in intimo contatto con la biomassa
    - - pretrattamenti con perdita di sostanza organica biodegradabile per RSU ind.

Processo anaerobico semi dry

- Vantaggi e svantaggi:
  - criterio economico ed ambientale :
    - + sistemi di pompaggio e miscelazione economici
    - - elevati investimenti per apparecchi di pretrattamento e volumi reattori
    - - produzione di elevate acque di processo

Processo anaerobico dry

Sostanza Secca : > 20 %

- Vantaggi e svantaggi:
  - criterio tecnologico :
    - + assenza di miscelatori interni al reattore
    - + resistenza a inerti pesanti e plastiche
    - + nessuna cortocircuitazione idraulica
    - - impossibile trattare solo RSU con ss > 20 %
  - criterio biologico :
    - + bassa perdita di s.o.b.d. nei pretrattamenti
    - + applicabile a elevati carichi organici
    - + resistenza a picchi di concentrazione di substrato o sostanze tossiche
    - - minima possibilità di diluire sostanze inibitorie e carichi organici eccessivi con acqua fresca

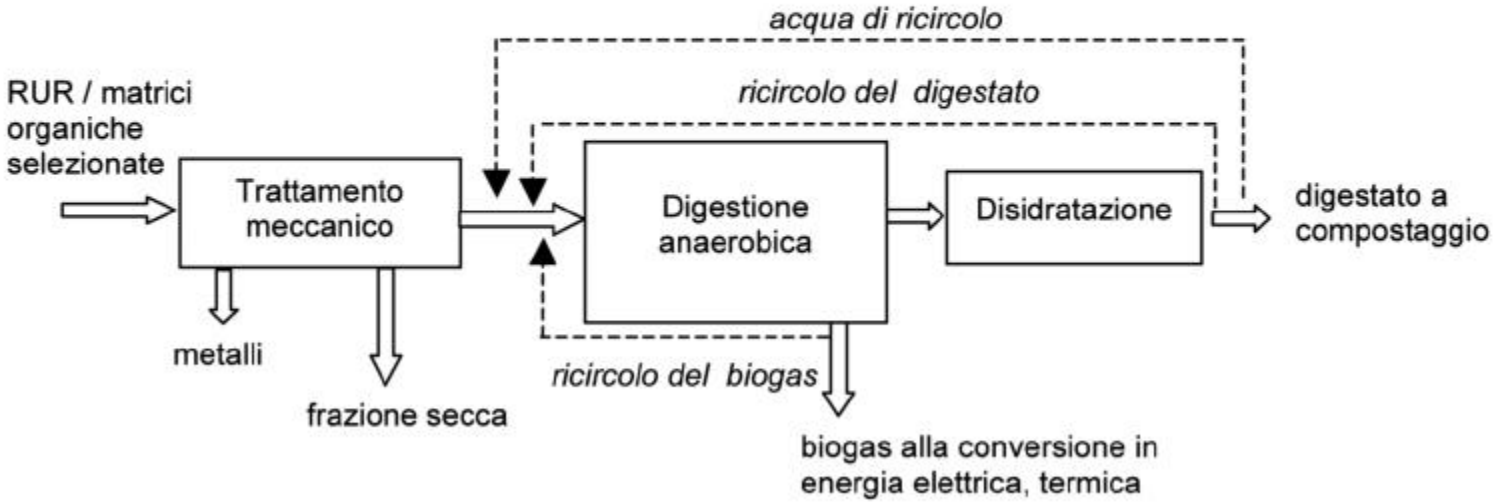
Processo anaerobico dry

- Vantaggi e svantaggi:
  - criterio economico ed ambientale :
    - + pretrattamenti minimi ed economici
    - + riduzione di volumi reattori, uso di acqua fresca, apporto termico
    - - apparecchi per il trattamento costosi

Schema di principio della digestione anaerobica

Figura 3.2.2
Schema di principio della digestione anaerobica

Elaborazione ENEA



Produzione specifica di biogas da rifiuti

Tabella 3.2.1 – Produzione specifica di biogas per alcune tipologie di rifiuti (Nm^3/SV)

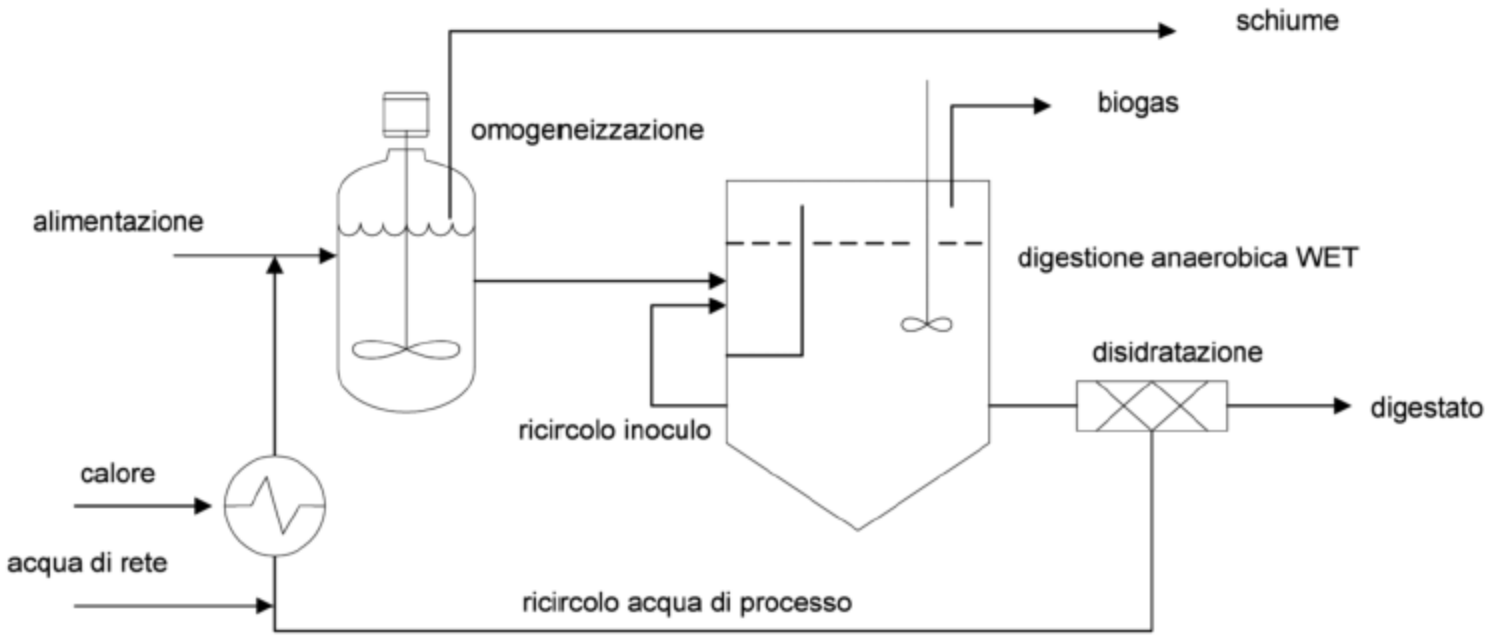
Matrice organica	Biogas prodotto
Deiezioni animali (suini, bovini, avinicoli)	200 - 500
Residui colturali (paglia, colletti barbabietole ecc.)	350 - 400
Scarti organici agroindustria (siero, scarti vegetali, lieviti, fanghi e reflui di distillerie ecc.)	400 - 800
Scarti organici di macellazione	550 - 1.000
Fanghi di depurazione acque	250 - 350
Frazione organica selezionata	400 - 600
Colture energetiche	550 - 750

SV = Solidi volatili: frazione della sostanza secca costituita da sostanza organica
Fonte: CIC [10]

Processo anaerobico wet

Figura A31
Schema di digestione anaerobica "wet"

Elaborazione ENEA

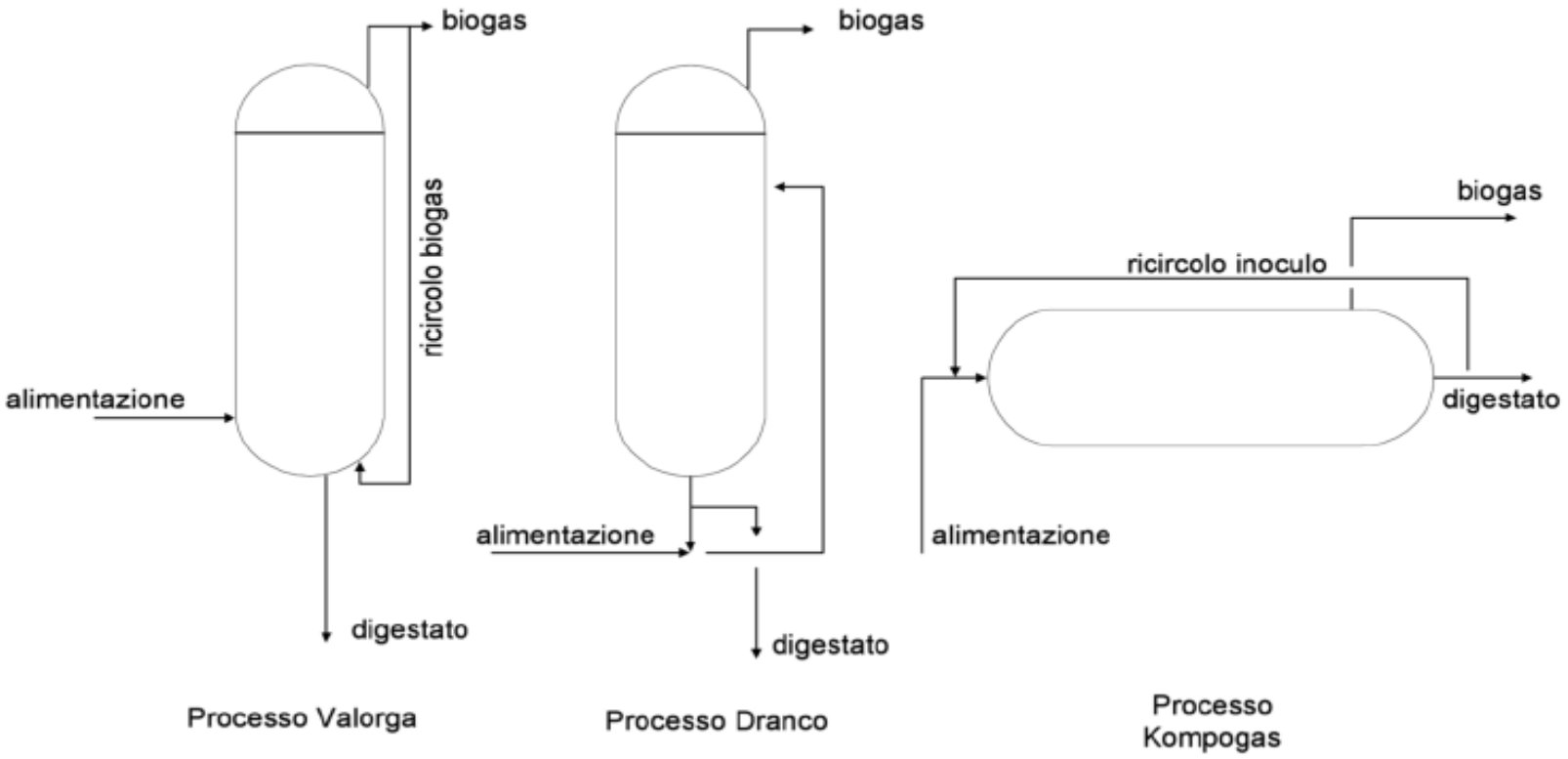


Processo anaerobico dry

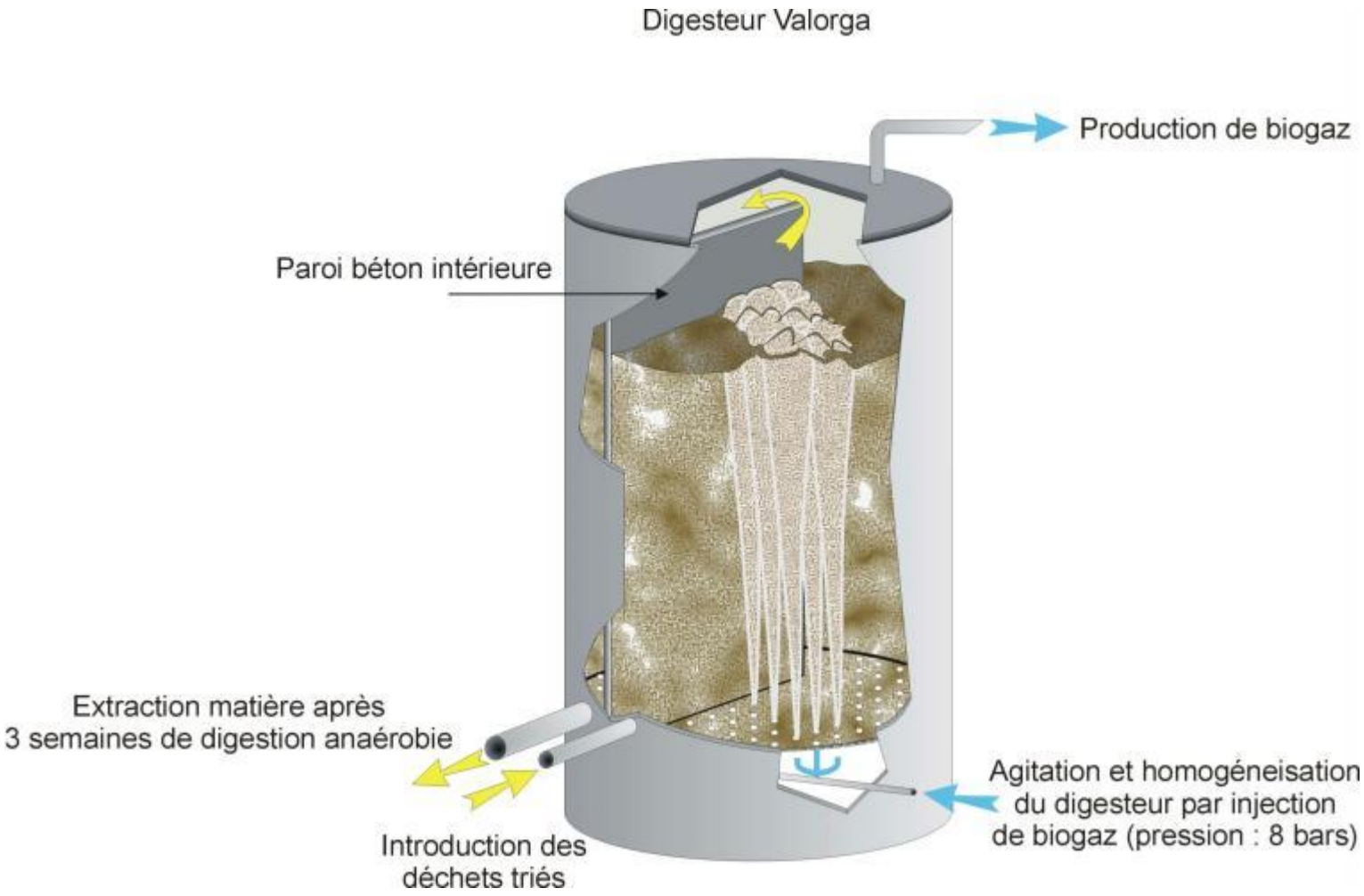
Figura A32

Schema di principio delle alternative di digestione anaerobica "dry"

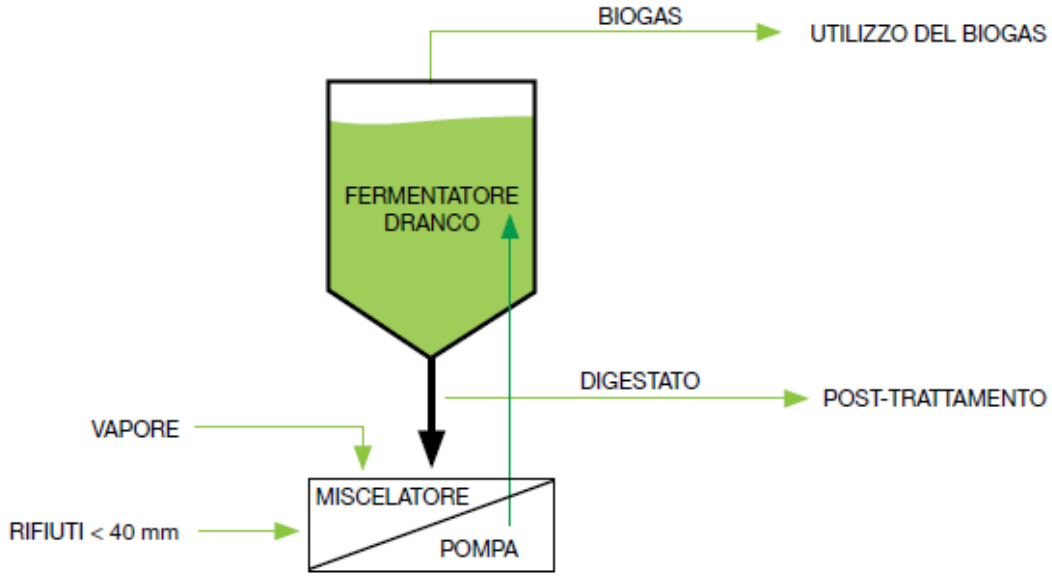
Elaborazione ENEA



Processo anaerobico dry - VALORGA

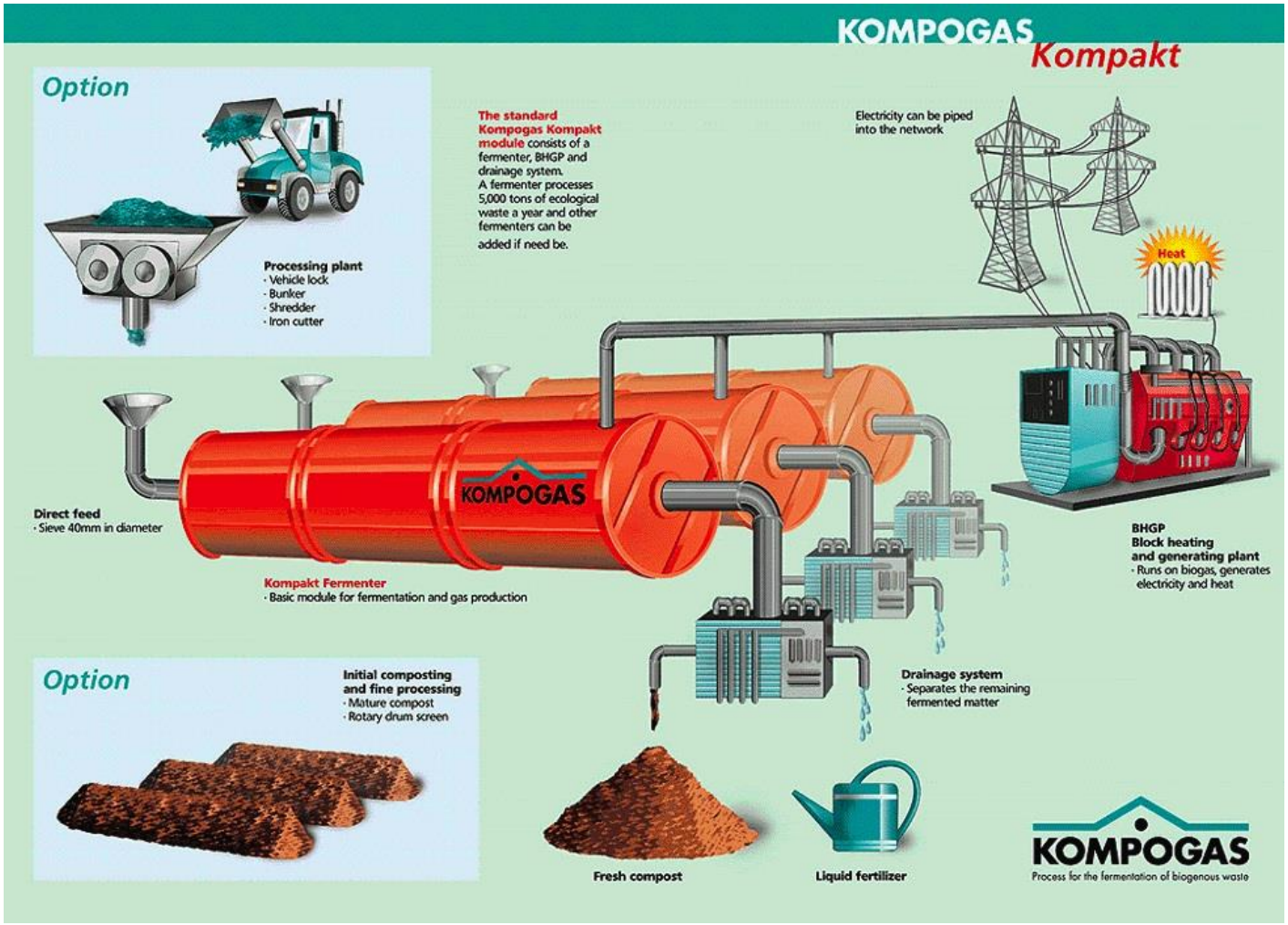


Processo anaerobico dry - DRANCO



Impianto DRANCO-FARM, Nüstedt (Germania) per le colture ad uso energetico, 750 kW

Processo anaerobico dry - KOMPOGAS



Digestione anaerobica

Pretrattamenti in funzione di:

- rifiuto in ingresso
- fasi successive dry o wet
  - » fase dry – sistemi convenzionali
  - » fase wet – miscelazione con acqua e flottatori di separazione frazione leggera e pesante
- qualità e destino prodotto finale

- Dilacerazione
- Separazione metalli
- Separazione inerti e plastiche (vagli meccanici, balistici , fluidodinamici, flottatori)
- Controllo pezzatura
- Omogeneizzazione e controllo umidità
  - diluizione tramite fanghi o acqua di ricircolo da disidratatori
  - miscelazione tramite coclee (dry e semidry)
  - idropolpatori
- Regolazione della temperatura
  - scambiatori
  - vapore vivo (attenzione agli shock)

Fasi del TMB

Utilizzo del biogas prodotto con digestione anaerobica

- produzione, depurazione ed utilizzo del biogas
  - grande vantaggio del processo anaerobico il recupero di biogas
  - tenore di metano dal 45 al 65 %
  - rendimento di produzione
    - » Frazione Organico selezionata meccanicamente
    - » da 0,2 a 0,45 m3/kg da processo a secco a processo a umido
    - » FO da raccolta differenziata
    - » da 0,65/0,85 a 0,5/0,7 m3/kg da processo a secco a processo a umido
  - tubazioni resistenti a composti corrosivi
  - filtrazione
  - deumidificazione
  - desolforazione a secco con adsorbenti (ossidi di ferro – carbone attivo)
  - desolforazione ad umido – scrubber (prima della deumidificazione)
  - rimozione della CO_2 , adsorbimento in acqua – membrane selettive

Fasi del TMB

Utilizzo del biogas prodotto con digestione anaerobica

- utilizzo interno per energia termica ai reattori
- utilizzo in apparecchi per produrre e.e. (motori alternativi – turbine a gas) o cogenerativi
- utilizzi emergenti:
  - » combustibile per veicoli
  - » utilizzo nella distribuzione del gas
  - » per macchine frigorifere ad assorbimento
- accumulo per compensare disomogeneità nei flussi IN/OUT
- torcia di emergenza

Fasi del TMB

- **Post-trattamenti**
  - processo anaerobico
    - disidratazione dei fanghi
      - residuo fango con SS pari al 20-25% per processo dry e 5-10 % per wet
      - utilizzo di :
        - » pressa a vite (SS 40-55 %)
        - » centrifuga (SS 25-35 %)
        - » nastro-pressa (SS 30 – 40 %)
    - stabilizzazione e raffinazione del fango digerito
      - il fango derivante dalla fase di metanizzazione non è stabilizzato causa ridotto tempo di residenza
      - necessaria fase aerobica di stabilizzazione

Fasi del TMB

Stoccaggio finale

- processo aerobico
  - cumuli all' aperto sotto tettoia
  - vincoli gestionali ridotti rispetto allo stoccaggio in ingresso
  - attenzione ai fenomeni di autocombustione (limite cumuli a 3-4 m)

- processo anaerobico
  - biogas non necessario
  - fango digerito o digestato : come sopra

Presidi ambientali

Emissioni odorigene

- **sistemi a prevenzione e a trattamento-controllo**
  - dispersione o trattamento (da preferire)
  - misure principali da adottare
    - chiusura degli spazi relativi alle prime fasi
    - canalizzazione delle arie esauste verso un sistema di trattamento
    - adeguato dimensionamenti delle apparecchiature
    - corretta gestione

Presidi ambientali

Abbattimenti chimico-fisici

- Combustione
  - termica rigenerativa
    - temperature di processo ad almeno 800 °C
    - scambiatore di recupero rigenerativo
  - rigenerativa catalitica – per alte concentrazioni di COV
    - aria passa su un letto refrattario a 260-450 °C con eventuali superficie catalitica
    - processo di recupero rigenerativo del calore
  - processi costosi
- Adsorbimento
  - in genere carbone attivo
  - rigenerazione frequente e remota per ragioni di sicurezza
  - sistema costoso ed oneroso gestionalmente

Presidi ambientali

Abbattimenti chimico-fisici

- Ossidazione chimica ed adsorbimento in soluzioni chimiche
  - apparato di uso generale : torre di lavaggio o scrubber
  - principio legato all' intimo contatto aerodinamico tra corrente d' aria da trattare e reagente in controcorrente
  - inquinanti passano da fase gas in soluzione; l' acqua da sola non è idonea per molti inquinanti (efficace per composti idrosolubili come ammoniaca, alcoli, acidi grassi volatili; non efficace con composti clorurati, ammine, acido solfidrico, chetoni, aldeidi, composti solforati, IPA)
  - occorre aggiungere reagenti chimici
  - condizioni operative:
    - tempo di contatto adeguato correlato a :
      - » volume torre (+ volume + tempo di residenza)
      - » dimensione gocce nebulizzate (++ con diametri -- , effetto superficie)
      - » presenza di riempimenti (gestione complessa causa intasamenti)
      - » flusso di ricircolo (+ flusso + gocce)
      - » turbolenza (+ omogeneità)

Presidi ambientali

  - concentrazioni realtive tra le fasi in dipendenza da:
    - » temperature acqua e aria da trattare (a t alte la soluzione non trattiene più le sostanze da abbattere)
    - » presenza d ricircolo
    - » presenza di reagenti
    - » presenza di tensioattivi (per sostanze idrofobe)
- in genere sono necessari sezioni multistadio con soluzioni diverse
- ottimo abbattimento di polveri – a volte è il motivo principale per l' adozione
- impianti complessi e costosi
- smaltimento dei reflui liquidi oneroso
- in genere usati come pretrattamento leggero per limare le punte prima di uno stadio biologico

Presidi ambientali

Ossidazione biologica

- idonei per concentrazioni medio basse, tipiche dei trattamenti biologici dei rifiuti
- di norma è una unità con sostrato filtrante (cortecce, legno triturato, compost maturo, terreno etc.) con formazione di uno strato di biomassa microbica attiva – biofilm - che degrada i composti nell' aria da trattare
  - diffusione della massa d' aria da trattare in modo completo ed omogeneo nel sostrato, tramite una prima percolazione in uno strato di ghiaia
  - aria va umidificata per evitare disidratazione biofilm
  - microrganismi degradano le sostanze odorigene in CO2 acqua e forme minerali inodori di zolfo e azoto
  - se il sostrato è un inerte occorre precedere l' esercizio con una fase di attivazione del biofilm che poi si autososterrà con le molecole da distruggere
  - oltre ai catalizzatori biologici intervengono fenomeni di :
    - » adsorbimento : cattura per attrazione molecolare delle particelle da trattare sulle particelle della matrice filtrante
    - » assorbimento : composti gassosi entrano in soluzione nel film acquoso della matrice filtrante

Presidi ambientali

Ossidazione biologica

- sistemi aperti (a vascone, per lo più a raso) più economici ma inadatti in climi piovosi
- sistemi chiusi : reattori con uno o più strati; sistemi costosi
- parametri da controllare:
  - temperatura (tra 20 e 40 °C)
  - umidificazione (ottimale tra 40-60 %); se bassa stop attività biologica zone secche bypassate da aria non trattata; se alta zone anaerobiche, lavaggio dei nutrienti, formazione di percolato; il metabolismo microbico crea calore che va controllato con umidificazione aria da trattare
  - omogeneità dei flussi
  - adeguata capacità tampone del mezzo filtrante vs. pH, per prevenire acidificazione da accumulo solfati, per esempio
- criteri di dimensionamento:
  - tempo di ritenzione
  - carico da trattare
  - altezze del letto ; se bassa rischi di essiccazioni; se alte pericolo di compattazioni

Presidi ambientali

Ossidazione biologica

- bioscrubber
  - poco diffusi
  - fango attivo (massa microbica) sui corpi di riempimento e nell' acqua
  - preferibili per concentrazioni medio-alte
  - miglior controllo tramite monitoraggio e regolazione pH e nutrienti (N P K)
  - gestione complessa

- grado di rimozione per impianti trattamento RU
  - per metano nulla
  - per NM TOC (acetone acetaldeide etanolo etc) buono , dal 40 al 70 %
  - per BTEX (benzene, toluene, etilbenzene, xilene) moderato
  - per CFC nulla
  - per ammoniaca da migliorare con scrubber acidi

Rimozione dei gas acidi- torri di lavaggio o scrubber

L'apparecchiatura di lavaggio ad umido (scrubber) consente la rimozione dei gas acidi dall'effluente gassoso proveniente dai processi di biodegradazione, mediante un meccanismo di assorbimento chimico-fisico.
Le più importanti applicazioni riguardano la rimozione di inquinanti gassosi come:

- alogenuri di idrogeno;
- anidride solforosa;
- ammoniaca;
- idrogeno solforato;
- composti organici volatili.

In funzione della natura degli inquinanti da rimuovere, possono essere utilizzati i seguenti solventi:

- acqua, per una blanda rimozione di acido cloridrico e ammoniaca;
- soluzioni alcaline per la rimozione di acido cloridrico, anidride solforosa, fenoli e cloro;
- soluzioni alcaline ossidanti (ipoclorito di sodio, biossido di cloro, ozono o acqua ossigenata);
- soluzioni di solfito acido di sodio (NaHS) per rimuovere alcune sostanze organiche odorigene a base di aldeidi;
- soluzioni di Na2S4 per la rimozione di mercurio;
- soluzioni acide per la rimozione dell'ammoniaca e delle ammine;
- soluzioni di monoetanolammina e dietanolammina per l'assorbimento e il recupero dell'acido solfidrico.

Il lavaggio viene realizzato **in colonne a nebulizzazione**, preferite a quelle a riempimento in quanto comportano minori perdite di carico per i gas e non presentano rischi di malfunzionamento per intasamento. Sono costituite da camere di forma cilindrica o parallelepipeda nelle quali sono disposti nella parte superiore i distributori del liquido di lavaggio (acqua o soluzione acquosa a pH neutro o debolmente acido, ecc.). **La corrente gassosa attraversa la colonna con moto ascensionale e, venendo a contatto con il liquido nebulizzato, cede a quest'ultimo gli inquinanti in quantità tanto maggiore quanto maggiori sono i tempi.**

La rimozione dei composti organici volatili e degli odori

Il sistema a **biofiltri**, (figura A36), è costituito da un letto di materiale organico (torba, erica, compost ecc.) oppure inerte (argilla, carbone, poliuretano ecc.) sul quale viene insediata una opportuna popolazione microbica. Negli impianti di compostaggio e di trattamento meccanico biologico, se la fase di digestione aerobica è condotta all'interno di aree chiuse in atmosfera controllata, i gas sviluppati nel corso dei processi di biodegradazione vengono aspirati mediante un sistema di ventilatori e soffianti e inviati al biofiltro; i microrganismi in esso presenti ossidano le sostanze organiche e odorigene presenti, dando luogo ad anidride carbonica e acqua.

Il sistema a biofiltri può essere disponibile in due configurazioni: aperto o chiuso.

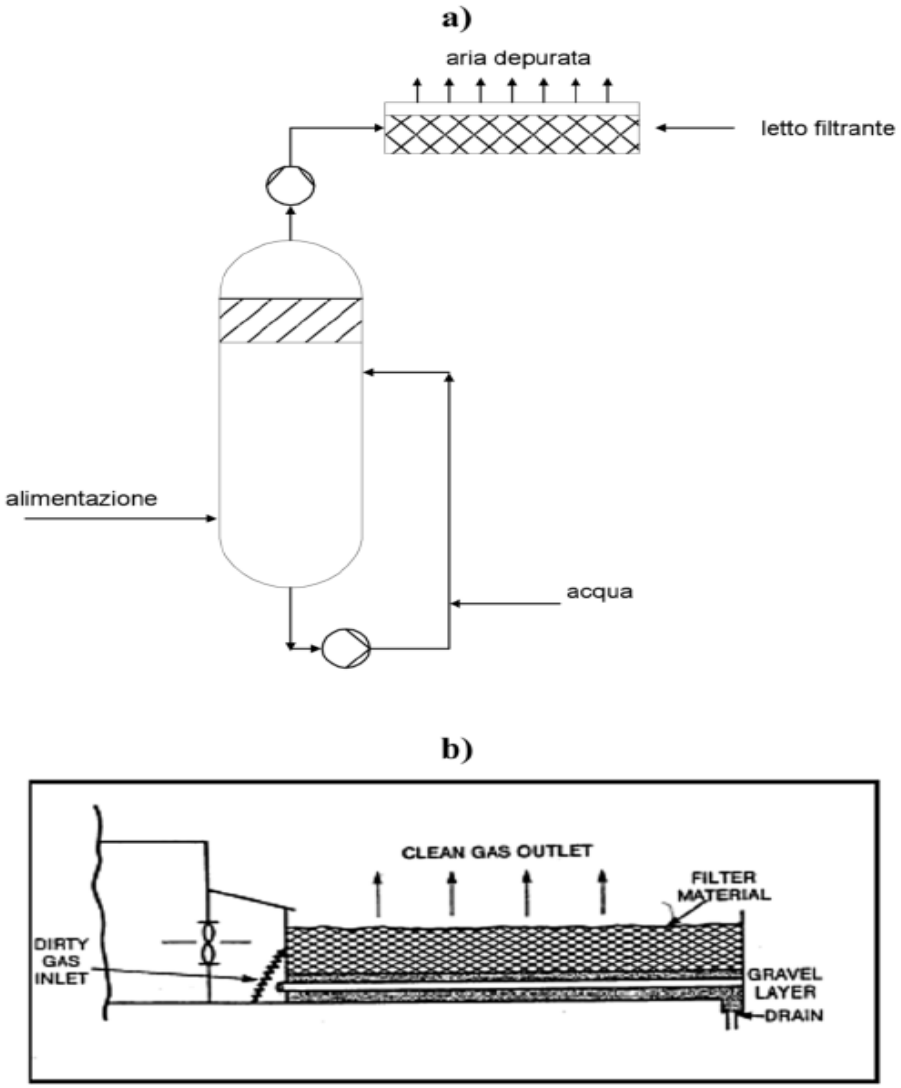
Il biofiltro aperto consiste di uno strato di materiale poroso filtrante percorso da una rete di tubi dai quali per azione di una soffiante fuoriesce l'aria contaminata da trattare. I biofiltri aperti sono impiegati per il trattamento di piccole portate gassose. In alternativa si possono impiegare i biofiltri aperti multistrato, costituiti da più strati sovrapposti, in modo da aumentare la superficie filtrante, consentendo quindi il trattamento di portate maggiori.

Nei biofiltri chiusi un ventilatore spinge la corrente gassosa contaminata uniformemente attraverso lo strato filtrante. La direzione del flusso gassoso può essere orientata dal basso verso l'alto o viceversa. Rispetto ai sistemi aperti sono più efficienti, selettivi, ma più costosi. Nei biofiltri è possibile variare il numero degli strati di materiale di riempimento per aumentare il carico specifico del letto in funzione della portata gassosa da trattare. Inoltre, per garantire l'attività dei microrganismi, occorre controllare la temperatura e l'umidità del letto filtrante. Gli altri parametri operativi da tenere sotto controllo sono le perdite di carico attraverso il letto, il pH e la concentrazione degli inquinanti nell'effluente.

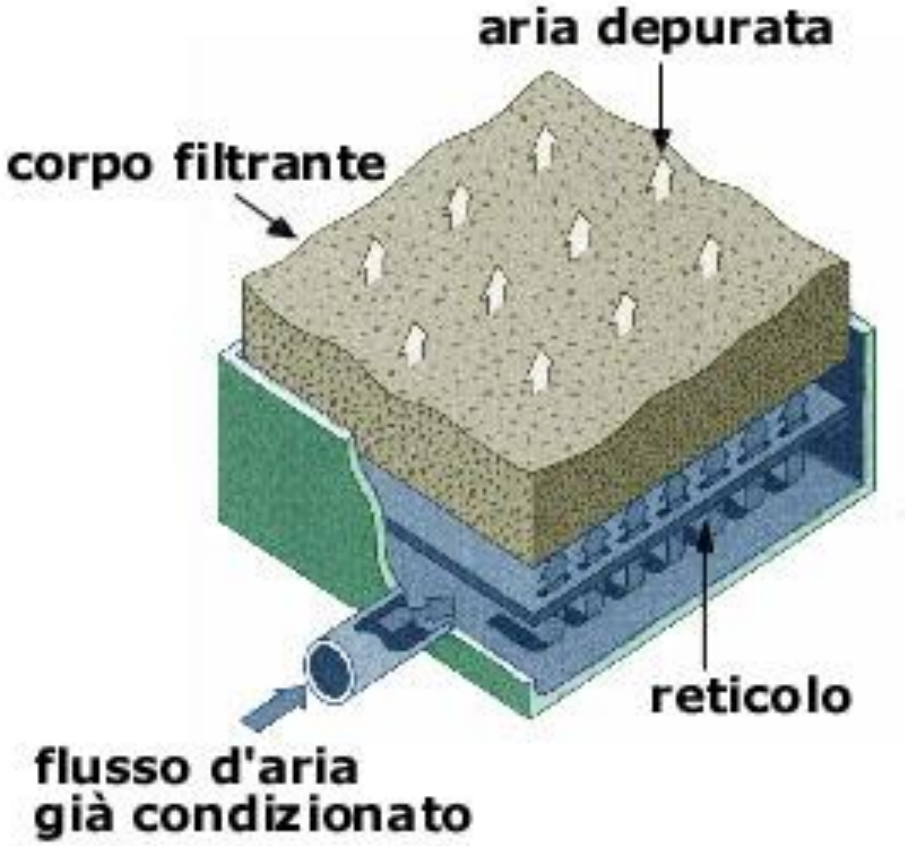
Figura A36

Schema di funzionamento di un biofiltro (a); particolare (b)

(a) Elaborazione ENEA; (b) BREF [A10]]



BIOFILTRO

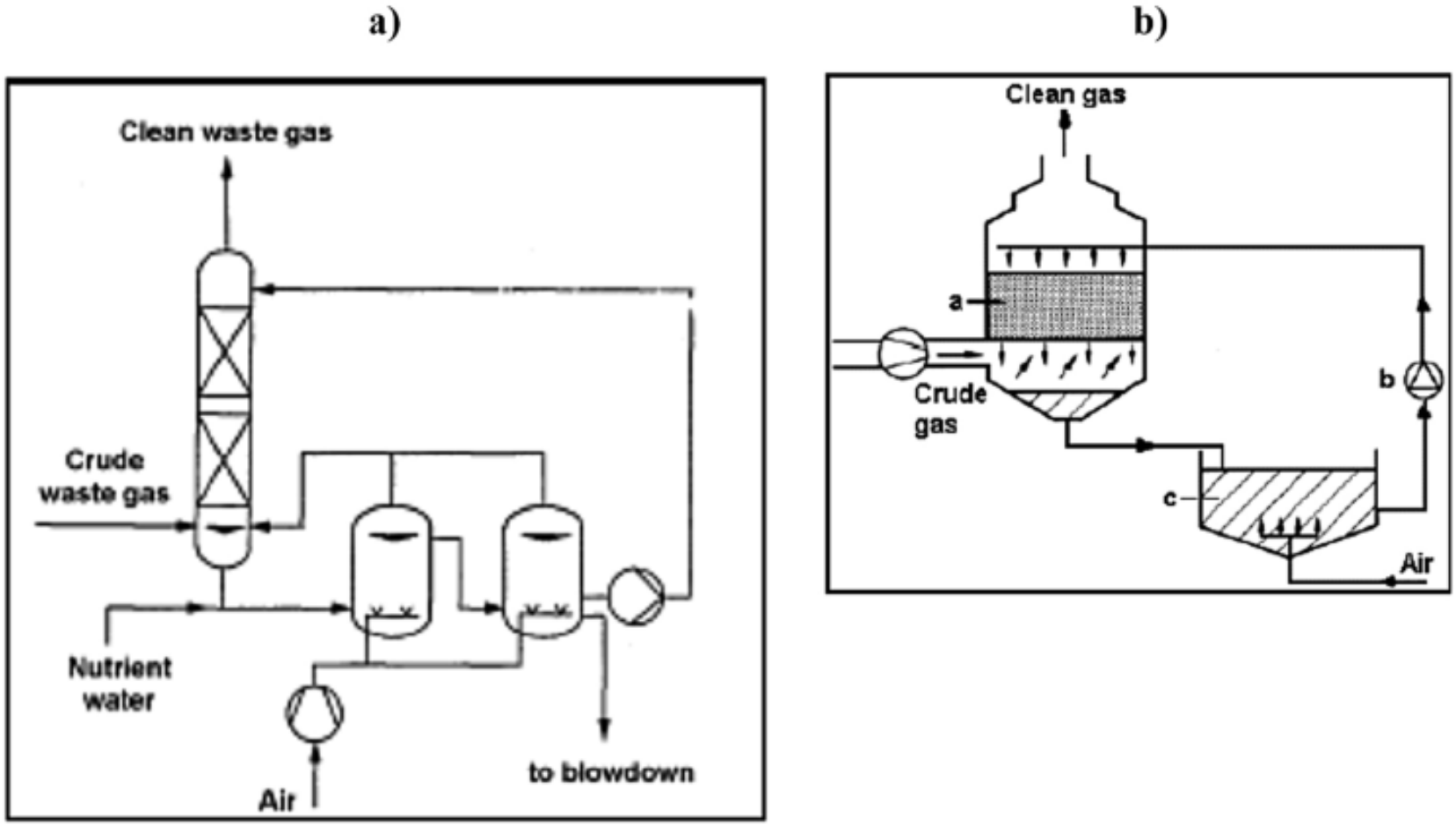

aria depurata
corpo filtrante
reticolo
flusso d'aria
già condizionato

La rimozione dei composti organici volatili e degli odori

Il biolavaggio o “bioscrubbing” (figura A37), consiste nella combinazione di due processi: il lavaggio di gas per assorbimento e la biodegradazione. L’acqua di lavaggio contiene in sospensione una popolazione microbica in grado di ossidare le sostanze nocive contenute nella corrente gassosa.
Il bioreattore si basa su di un sistema a fanghi attivi, ricircolati all’interno dell’apparecchiatura. Gli inquinanti assorbiti vengono degradati in vasche areate contenenti i fanghi.
Il sistema funziona a pieno regime solo dopo alcune settimane di adattamento in funzione della composizione della corrente gassosa da trattare. Per i contaminanti solforati (mercaptani, idrogeno solforato, dimetilsolfuro ecc.) o clorati (metani o etani clorati) è particolarmente applicata l’inoculazione di culture preparate in fermentatori.
Uno degli aspetti più delicati del processo riguarda il controllo della concentrazione salina, i cui valori eccessivi possono interferire con la velocità di biodegradazione; l’aumento dei valori di salinità si accompagna generalmente a fenomeni evaporativi o ad errori nel dosaggio di agenti nutrienti.
Misure atte a prevenire un’eccessiva formazione di sali possono essere:
• adeguata rimozione di adsorbente e simultaneo ripristino di acqua;
• impiego di acqua addolcita;
• saturazione di vapore della corrente gassosa a monte.
E’ necessaria la correzione del pH in presenza di composti acidificanti contenenti zolfo, cloro e/o azoto che possono dare luogo alla formazione di acido solforico, cloridrico e nitrico.

Figura A37
Schema di funzionamento di uno bioscrubber (a); particolare (b)

Fonte: BREF [A10]



L’ossidazione termica rigenerativa

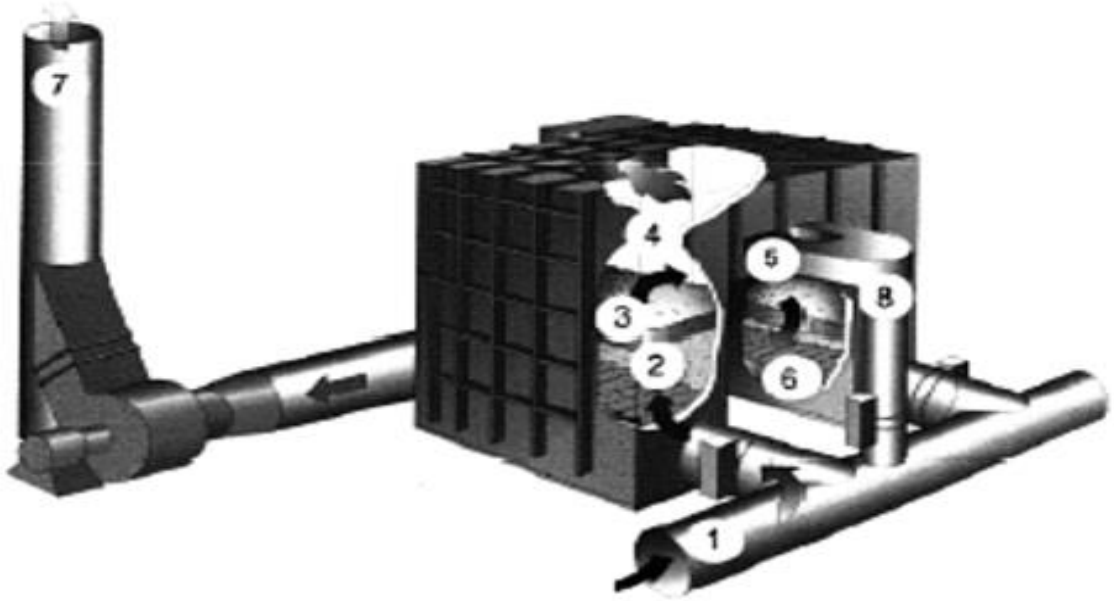
Si tratta di una tecnica (figura A38) messa a punto in Germania e applicata in Italia nell’impianto di Fusina (VE).
Consente di ottenere livelli molto elevati di rimozione degli inquinanti organici, cui fanno riscontro costi di investimento ed esercizio piuttosto elevati.
La corrente gassosa proveniente dal processo di biostabilizzazione biologica viene convogliata in una camera di post-combustione, dove viene convertita in misura quantitativa in anidride carbonica e acqua tramite ossidazione completa.
A monte e a valle della camera la corrente gassosa attraversa degli scambiatori aria-aria di tipo ceramico che, tramite opportuni cicli, sono in grado di trasferire alla corrente inquinata una quantità di energia pari ad oltre il 95% di quella necessaria per il suo completo trattamento.
Il trattamento in questione, denominato “LARA” (Luft-Aufbereitungs und Reinigungs- Anlage, impianto di depurazione e trattamento aria), consente di contenere i consumi di combustibili di supporto a valori dell’ordine del 2%.
Le condizioni operative della camera di combustione sono in linea con la normativa che regolamenta le operazioni di incenerimento dei rifiuti, essendo in grado di garantire un tempo di residenza minimo di 2 secondi ad una temperatura di almeno 850 °C (cui segue un rapido raffreddamento, di durata inferiore a 1 sec, dell’aria depurata a temperature di poco superiori a quella ambiente), nonché il rispetto dei limiti di emissione del carbonio organico totale (TOC) pari a 10 mg/Nm3.

L’ossidazione termica rigenerativa

Figura A38

Schema di funzionamento dell’ossidazione termica rigenerativa

Fonte: BREF [A10]

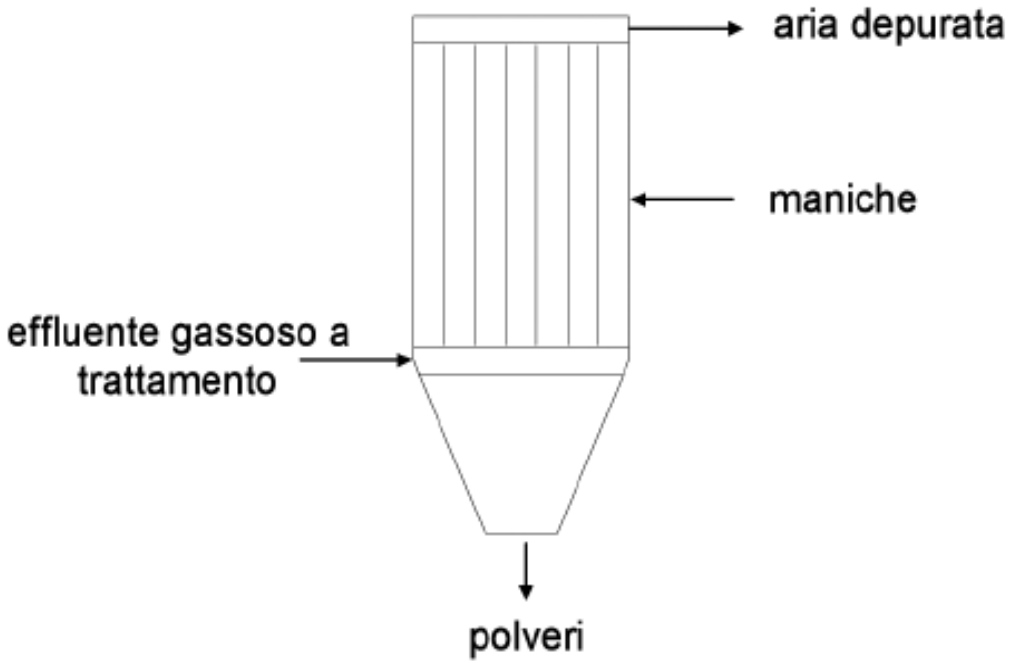


***Legenda**: 1= ingresso effluente gassoso esausto; 2 = letto di materiale ceramico; 3 = strato di catalizzatore; 4 = camera di combustione; 5 = strato di catalizzatore in uscita; 6 =camera rigenerativa ;7 = camino; 8 = condotto di transizione*

Presidi ambientali – filtri a maniche - depolveratori

Figura A34
Schema di filtro a maniche

Elaborazione ENEA



Presidi ambientali – filtri a maniche - depolveratori

I filtri a maniche costituiscono uno dei sistemi più efficaci di rimozione delle polveri aventi dimensioni inferiori o uguali a PM 2,5. In questa apparecchiatura (figura A34), la corrente di effluente gassoso viene fatta passare attraverso un tessuto o feltro poroso
sul quale si depositano le polveri mediante un meccanismo di setacciatura. Questi filtri possono presentarsi in forma di fogli, cartucce o maniche (il tipo più comune) disposti modularmente in un unico alloggiamento.
Lo strato di polveri che si forma sulla superficie di tessuto contribuisce ad aumentare significativamente l'efficienza di rimozione. Le condizioni operative sono un importante parametro per la scelta del tessuto.
E' necessario che la superficie del tessuto esposta all'attraversamento della corrente gassosa sia sufficientemente estesa in modo da evitare lungo di essa perdite di carico eccessive che determinerebbero rotture del sostegno e di conseguenza emissioni indesiderate.
Le dimensioni di un'unità di filtrazione sono determinate dalla scelta del rapporto tra portata volumetrica dell'aria e area del tessuto. La selezione di tale rapporto dipende dal carico in ingresso e dal metodo di rigenerazione dei filtri. Un carico particolarmente elevato richiede l'adozione di dimensioni maggiori per la singola unità al fine di evitare la formazione di una torta di polvere troppo pesante che provocherebbe una perdita di carico eccessiva. L'intensità e la frequenza di rigenerazione costituiscono parametri importanti per la determinazione dell'efficienza di rimozione. Se la rigenerazione è condotta in modo troppo intenso e/o frequente, la strato di polvere può essere rimossa completamente, pregiudicando l'efficienza di filtrazione. Se la rigenerazione viene condotta con intensità troppo debole e frequenza troppo bassa, le perdite di carico diventano
troppo elevate.

Presidi ambientali – filtri a maniche - depolveratori

I comuni metodi di pulizia dei filtri sono:

• a flusso d'aria in controcorrente: in condizioni di normale funzionamento le maniche sono aperte sul fondo e chiuse alla sommità e la polvere si deposita sul loro lato interno o esterno. Per la pulizia, la manica viene posta fuori linea e sottoposta ad una
corrente d'aria forzata nella direzione opposta a quella normale di esercizio in modo da far ricadere la polvere catturata nelle tramogge di raccolta poste al di sotto, per un periodo inferiore a 5 minuti. Il sistema può essere accoppiato allo scuotimento per
azione meccanica o ultrasuoni in funzione del grado di adesione della polvere al tessuto;

• a pulsazione: metodo relativamente recente che permette di esercire il filtro a maniche sotto carichi di polvere maggiori, ad una perdita di carico costante e con ingombri minori. La polvere si raccoglie sul lato esterno delle maniche che sono chiuse sul
fondo e aperte alla sommità; la corrente gassosa viene insufflata mediante diffusori che dispongono di un controllo sulle particelle maggiori affinché non danneggino il tessuto. L'azione di pulizia vera e propria consiste in un getto d'aria compressa (0,4-
0,8 MPa) inviato all'interno delle maniche per brevi intervalli (0,03 - 0,1 sec). Questo sistema presenta il vantaggio che non occorre interrompere l'esercizio per effettuare le operazioni di pulizia;

• ad ultrasuoni: gli ultrasuoni vengono accoppiati ai sistemi in controcorrente d'aria e a scuotimento per migliorarne l'efficienza, essendo in grado di ridurre le perdite di carico attraverso il filtro del 20-60% nonché l'usura delle maniche sottoposte ad azione
meccanica.

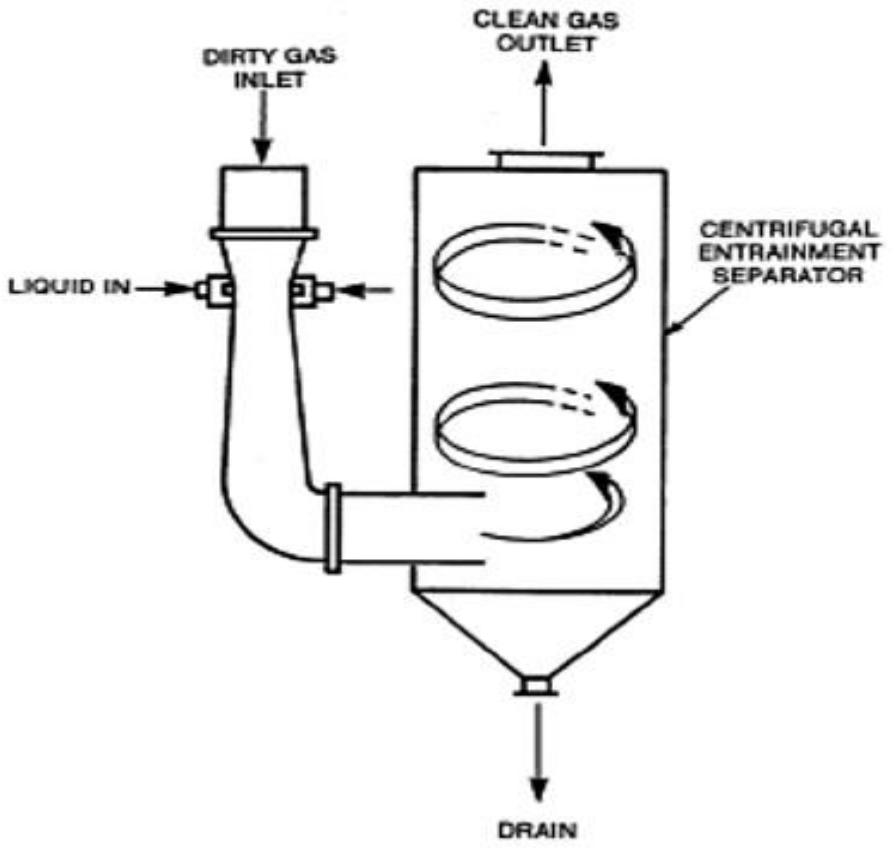
Gli elementi filtranti possono essere soggetti ad intasamento se vengono attraversati da una corrente gassosa avente una temperatura inferiore a quella di rugiada; tali condizioni possono anche dare luogo alla corrosione delle componenti metalliche del filtro. Per tale motivo è importante che tali apparecchiature siano isolate termicamente
e dotate di un sistema di riscaldamento.

Filtro a ciclone di tipo venturi - depolveratori

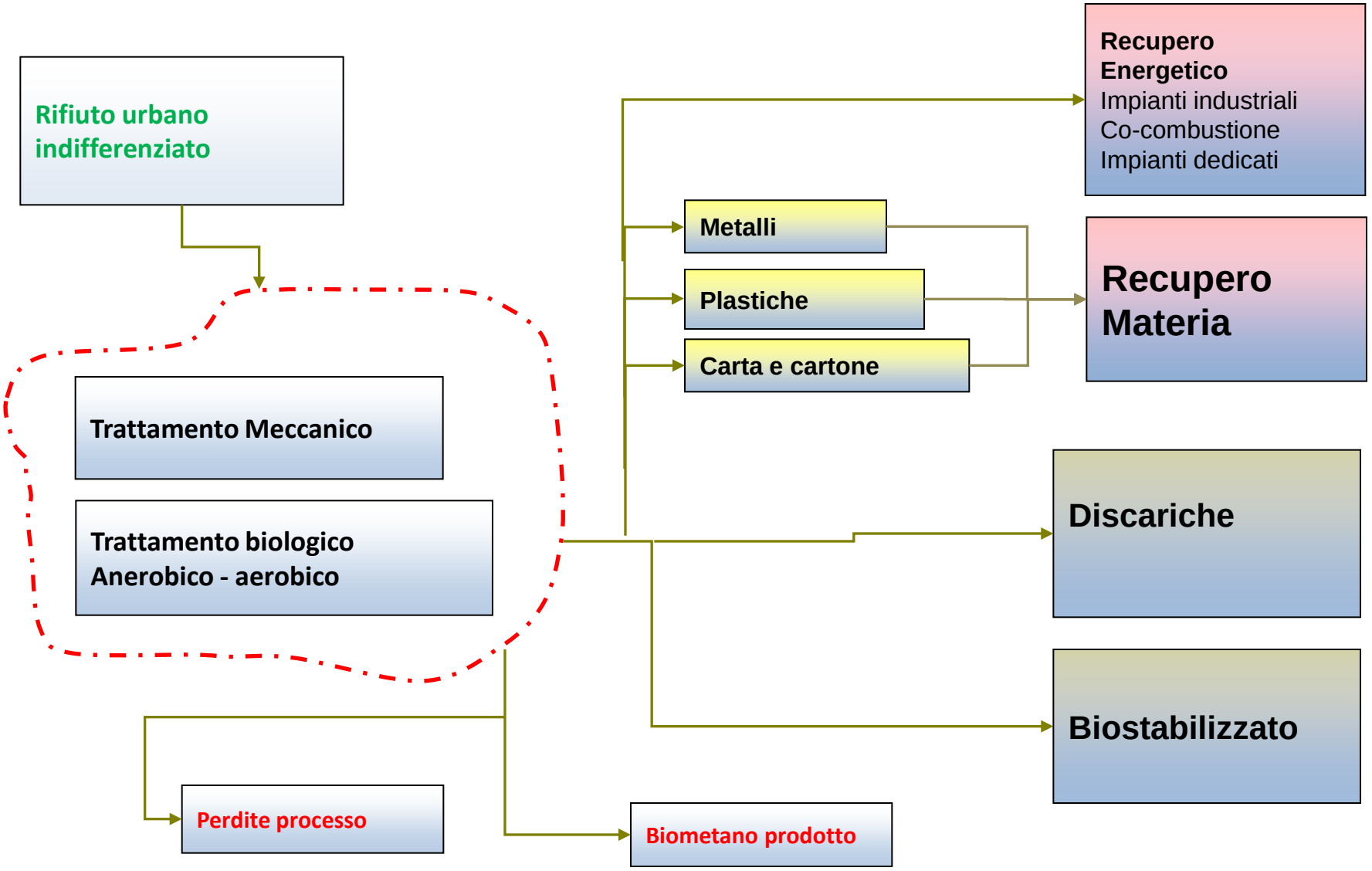
Figura A35

Sistema di depolverazione ad umido di tipo Venturi

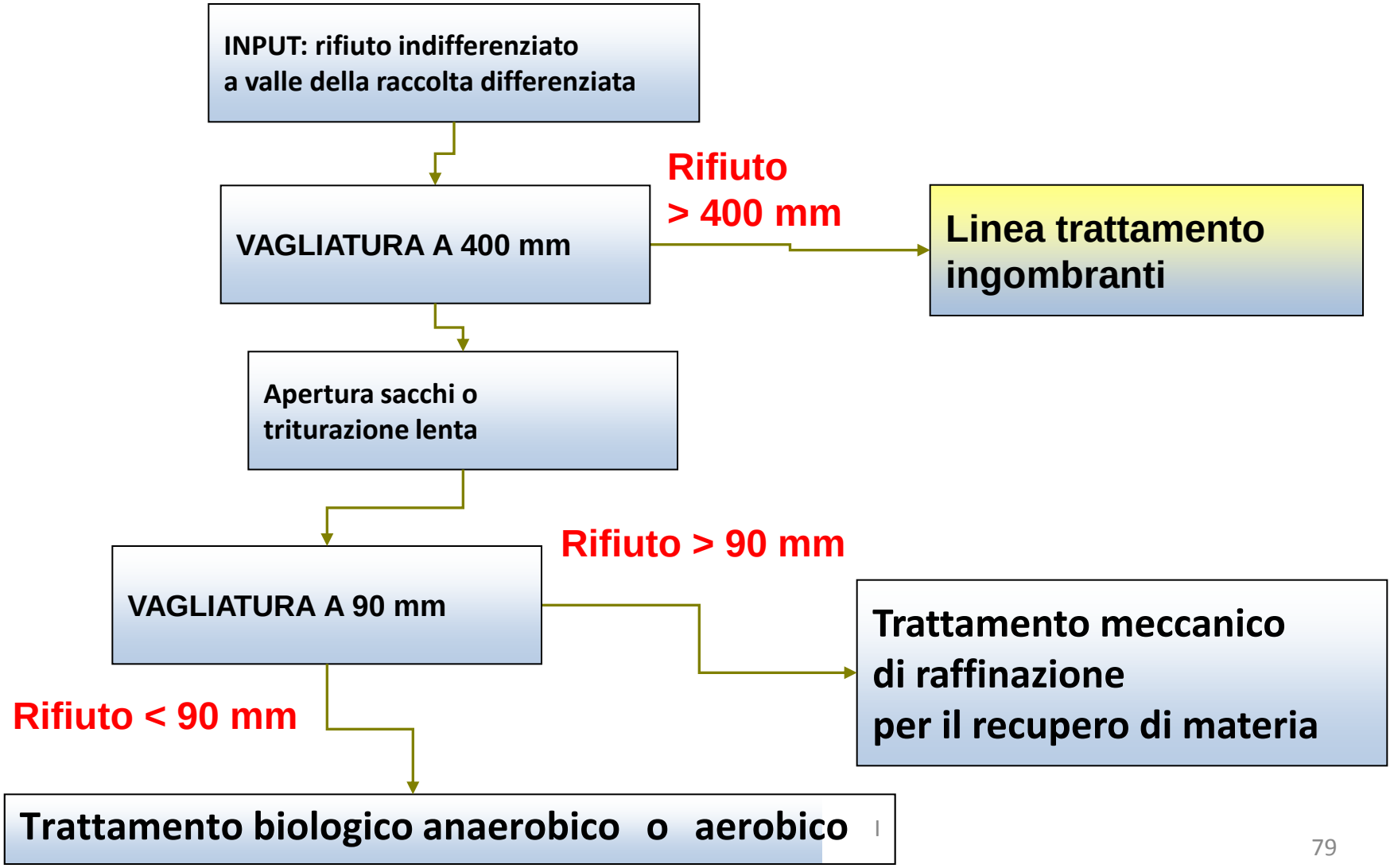
Fonte: BREF [A10]



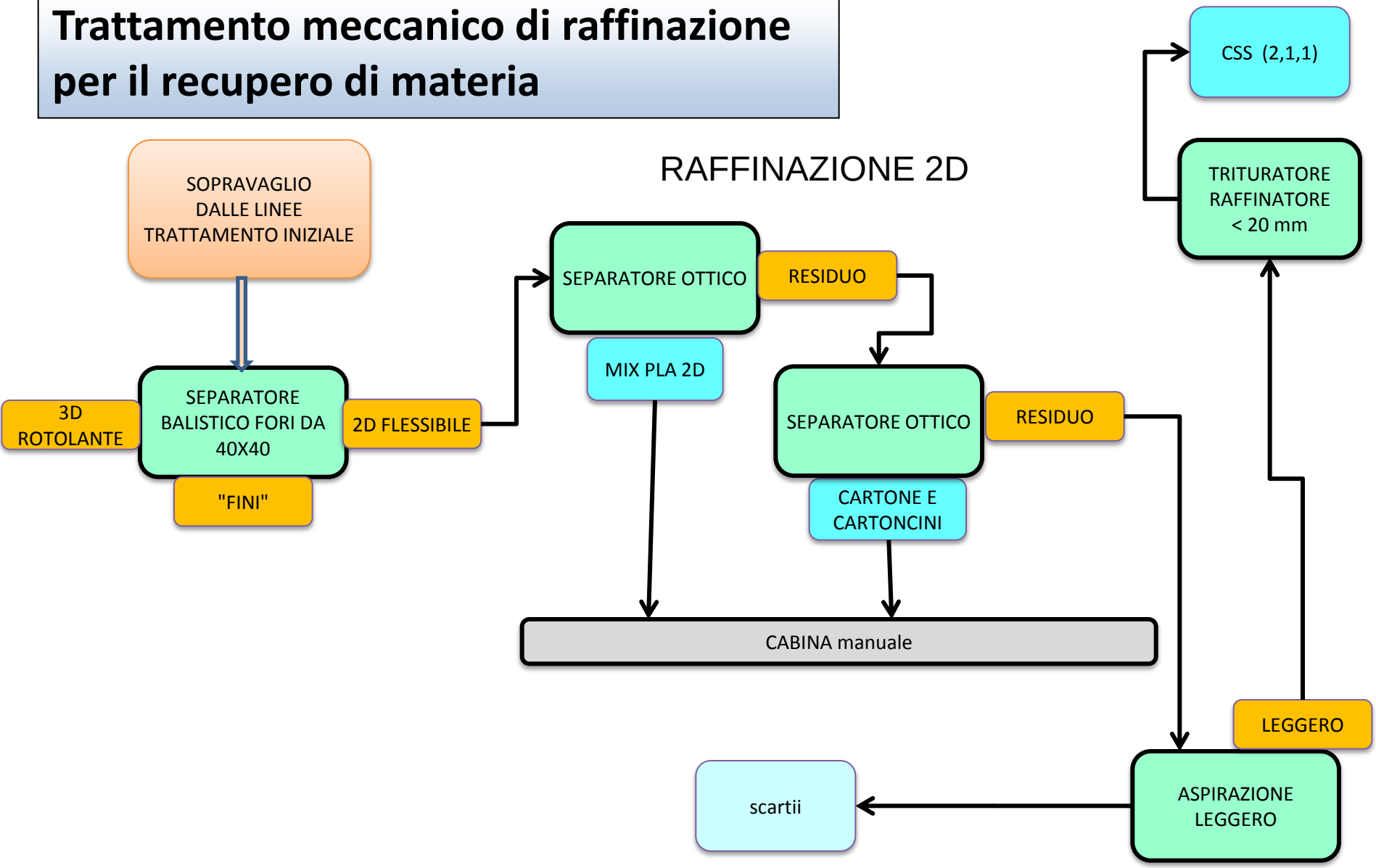
Esempio di impianto di trattamento meccanico biologico



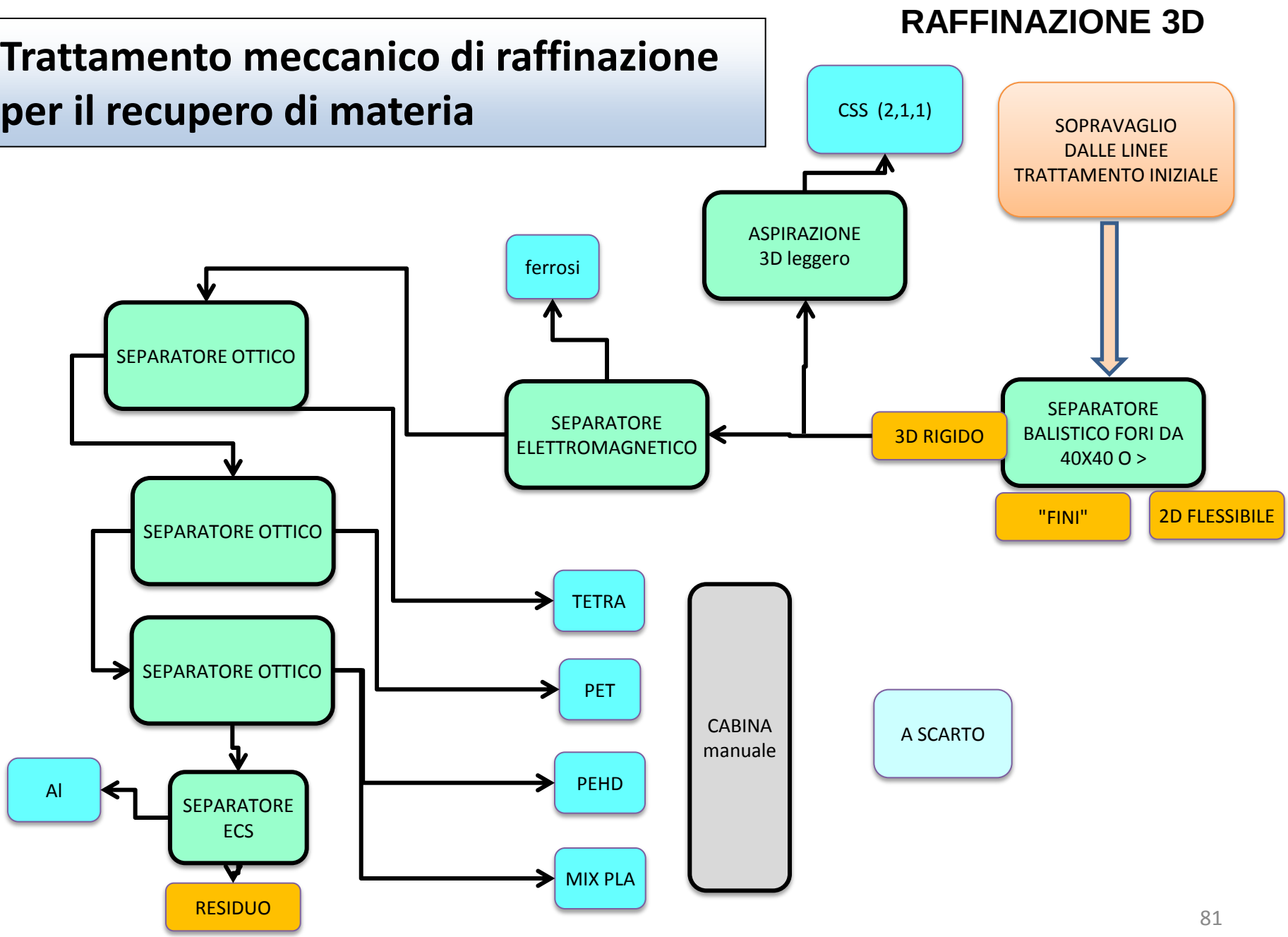
Trattamento Meccanico



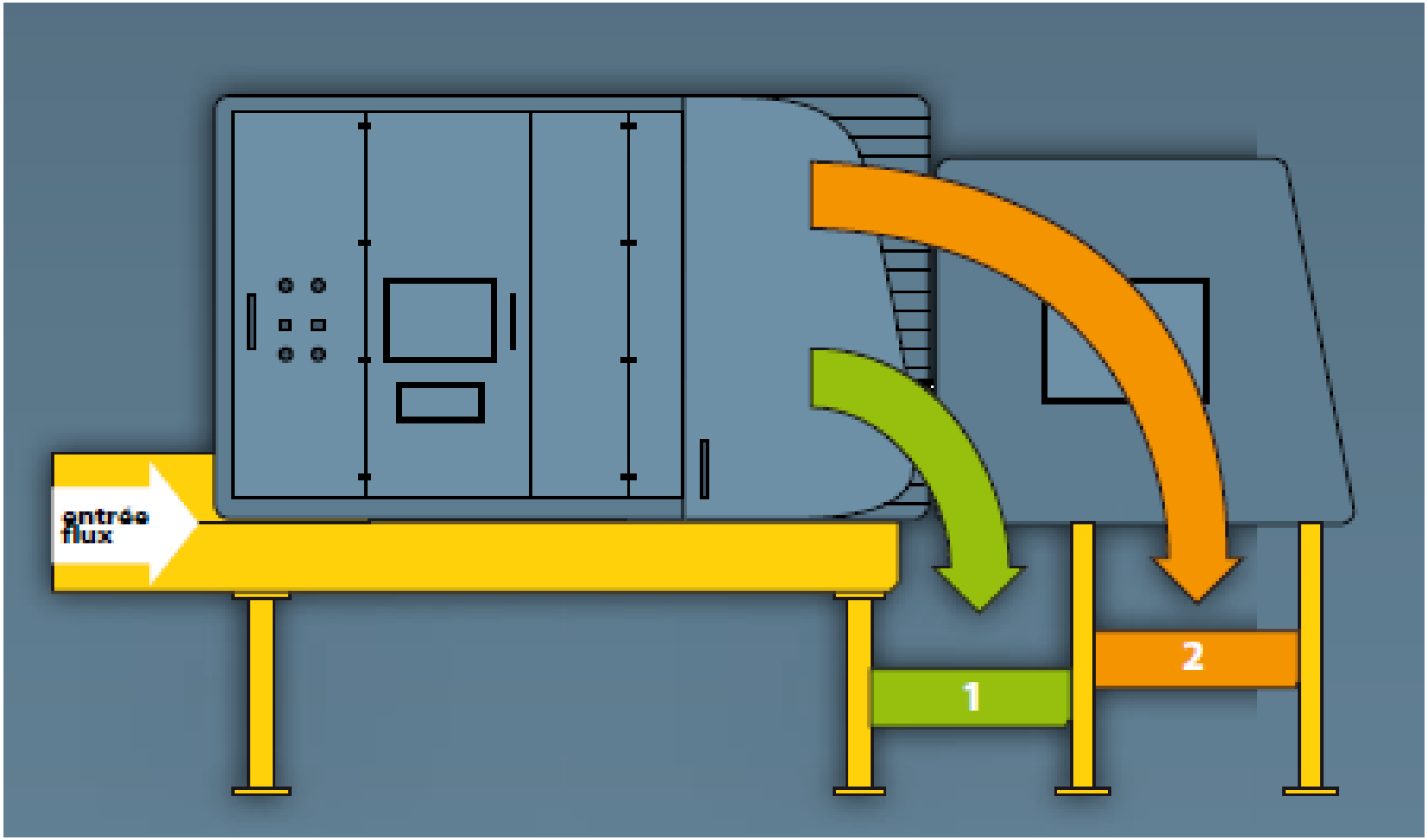
Trattamento meccanico di raffinazione per il recupero di materia

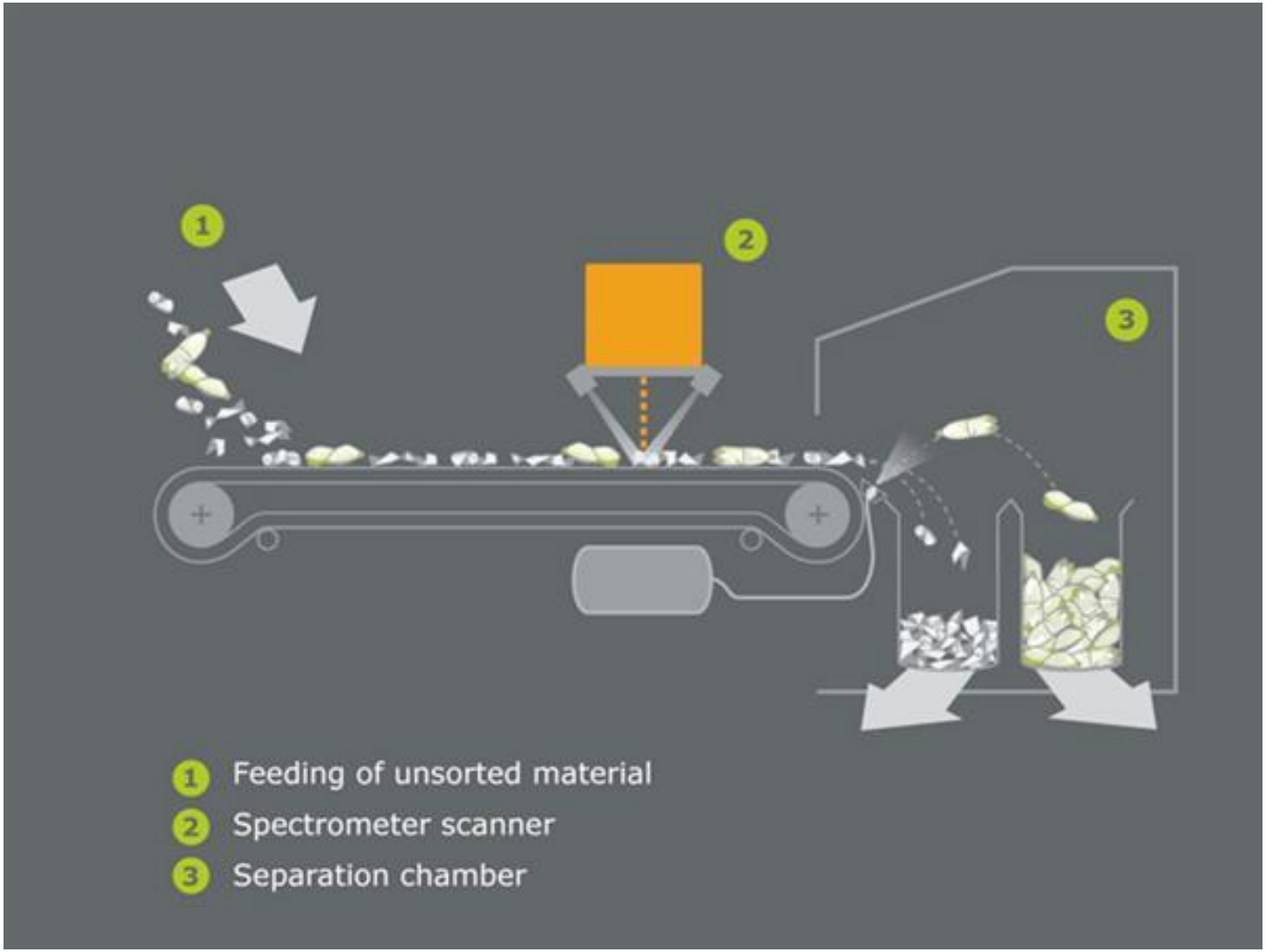


Trattamento meccanico di raffinazione per il recupero di materia



alimentazione
materiale
scarico frazione piana
scarico frazione vagliata
scarico frazione rotolante


entrée
flux
1
2


1
2
3
1 Feeding of unsorted material
2 Spectrometer scanner
3 Separation chamber