

Riassunto. — Vengono esaminati i sistemi con cui sono raccolti e vengono trattati i residui solidi urbani facendo riferimento alle condizioni di fatto esistenti nei principali paesi di Europa e negli Stati Uniti.

Dopo aver esaminato le generalità sui dati quantitativi e qualitativi dei rifiuti raccolti dai Servizi Municipali in varie città Europee ed Americane, sono date indicazioni circa le modalità per la attuazione dei servizi di deposito, prelievo, trasporto e destinazione dei rifiuti solidi urbani.

Si danno indicazioni e norme riguardanti le forme, le capacità e i materiali di costruzione di alcuni tipi di contenitori e inoltre sono esaminati e confrontati i vari tipi di automezzi adibiti alla raccolta e al trasporto dei rifiuti, in relazione alle loro caratteristiche meccaniche ed alla potenzialità di carico in rapporto alla popolazione servita.

Particolare attenzione è rivolta alle norme di progetto e di conduzione degli impianti per il trattamento dei rifiuti solidi, riferendosi ai principali stabilimenti adibiti a questa funzione, in esercizio in Italia e all'Estero.

Più specificatamente vengono date notizie riguardanti gli impianti che attuano il trattamento dei rifiuti attraverso metodi di fermentazione, sia all'aperto che in serbatoi chiusi.

Da ultimi sono passati in rassegna gli impianti per l'incenerimento dei rifiuti: tale rassegna è basata principalmente su dati di confronto delle potenzialità e delle caratteristiche funzionali dei più importanti stabilimenti, specialmente tenendo presente il ciclo del materiale nel processo di combustione e i vari sistemi con cui viene realizzata la alimentazione meccanica dei forni di incenerimento.

Résumé. — On considère les systèmes employés pour le ramassage et le traitement des résidus solides urbains, se référant aux conditions réelles existant dans les principaux pays d'Europe et aux Etats Unis.

Après avoir étudié les données générales concernant la quantité et qualité des ordures recueillies par les Services Municipaux de plusieurs villes européennes et américaines, on donne des indications touchant aux normes relatives aux services de dépôt, recolte, transport et destination des résidus solides urbains.

On donne des indications et normes concernant les formes, capacité et matériaux de construction de quelques types de récipients et on étudie aussi, effectuant une comparaison, les différents modèles de voitures utilisées pour la récolte et le transport des ordures, par rapport

aux caractéristiques mécaniques qu'ils présentent et aux possibilités de charge par rapport à la population desservie.

Une attention particulière est dédiée aux normes de projet et de gestion des installations pour le traitement des résidus solides, se référant aux établissements les plus importants de ce genre fonctionnant en Italie et à l'étranger.

On donne aussi des détails plus minutieux à propos des installations qui traitent les résidus par des méthodes de fermentation, soit au grand air que dans des réservoirs fermés.

On examine, enfin, les installations pour l'incinération des ordures: cet examen se base surtout sur les données de comparaison concernant le potentiel et les caractéristiques fonctionnelles des établissements les plus importants, tenant compte, tout particulièrement, du cycle du matériel au cours du procès de combustion ainsi que les différents systèmes par lesquels on réalise l'alimentation mécanique des fourneaux d'incinération.

Summary. — Systems in use in the main European countries and in the United States for the collecting and treatment of solid urban refuse are examined. After considering the general figures for the quantity and nature of the refuse collected in various cities in Europe and America, reference is made to the organisation of the services for deposition, collection, transport and disposal of urban waste material. The desirable and the normal shape, size and construction materials for some types of containers are detailed. The various types of lorries suitable for the collection and transport of refuse are compared in relation to their mechanical characteristics and to their load in respect of the population served.

Particular attention is given to standards of design and of management of plants for the treatment of solid refuse, reference being made to the principal factories with this function in Italy and abroad. More specifically attention is paid to plant which treats refuse by fermentation procedures both in the open and in closed ranks. Finally, plant for the incineration of refuse is reviewed. This review is based mainly on figures comparing the potentialities and characteristics of the more important factories with special attention to the material cycle in the combustion processes and the various systems used for the mechanical feeding of the incinerators.

Zusammenfassung. — Die Verfahren zur Sammlung und Behandlung der festen Stadtabfälle werden im Zusammenhang mit den in den wich-

tigsten Staaten Europas and in USA herrschenden Bedingungen besprochen.

Nach Überprüfung der qualitativen und quantitativen Angaben über die in verschiedenen europäischen und amerikanischen Städten gesammelten Abfälle werden die Verfahren der Sammlung, der Lagerung, des Transportes und der Bestimmung der festen Stadtabfälle geschildert.

Es werden Angaben und Vorschriften die die Form, das Volumen und das Herstellungsmaterial der Behälter regeln angeführt; die verschiedenen Kraftfahrzeuge zur Sammlung und zum Transport der Abfälle werden im Zusammenhang mit ihren mechanischen Eigenschaften und ihrem Ladungspotential im Verhältnis zum Bestand der bedienten Bevölkerung verglichen.

Besondere Aufmerksamkeit wird den Projektierungs und Leitungsvorschriften der Anlagen zur Behandlung der festen Abfälle, unter besonder Berücksichtigung der in Italien und im Ausland arbeitenden, gewidmet.

Die Anlagen in denen die Abfälle nach einem Fermentationsverfahren, so in offenen wie in geschlossenen Behältern, behandelt werden finden eine ausführlichere Schilderung.

Es folgt schliesslich eine Übersicht der Anlagen zur Veräscherung der Abfälle: diese Übersicht stützt sich hauptsächlich auf dem Vergleich der Leistungsfähigkeit und der funktionellen Eigenschaften der wichtigsten Anlagen, wobei dem Zyklus des Materials im Verbrennungsprozess und den verschiedenen mechanischen Beschickungsverfahren der Veräscherungsöfen besondere Beachtung gewidmet wird.

GENERALITA'

L'allontanamento sistematico dai luoghi abitati, dei rifiuti della vita domestica, è un assunto basilare della igiene: un aspetto particolare di tale problema è rappresentato dalla necessità di allontanare in modo innocuo i residui solidi.

Una grande minaccia alla salute pubblica è rappresentata infatti dai depositi di immondizie riunite in modo igienicamente inadeguato: malattie di ogni genere, e specialmente quelle più gravi propagate da roditori e da insetti, quasi sempre prendono origine dai rifiuti irrazionalmente smaltiti. La trichinosi endemica negli Stati Uniti e nel Nord Europa, trae origine esclusivamente dalla utilizzazione irrazionale delle immondizie, destinate alla nutrizione dei maiali.

Sembra opportuno pertanto esaminare in uno studio generale le

condizioni di fatto esistenti in Italia e all'Estero sull'argomento, sia in rapporto alle influenze igieniche dell'ambiente che alle possibilità tecniche ed economiche connesse con la soluzione del problema.

Uno studio dell'argomento proposto implica innanzi tutto una indagine sulle caratteristiche generali dei rifiuti, e successivamente una classificazione dei loro principali costituenti.

Si è inteso anzitutto il bisogno di riesaminare integralmente le definizioni dei componenti principali dei rifiuti per una inequivocabile trattazione delle questioni connesse con il problema, tanto più che alcune di esse derivano dalla traduzione di termini tecnici specializzati, correntemente in uso nelle lingue straniere (¹).

TERMINOLOGIA

Residui: vanno correntemente sotto il nome di « residui » tutti i materiali inutili, inutilizzati e indesiderati, risultanti dalla normale attività di una comunità; i residui sono solidi, liquidi e gassosi.

Rifiuti: si intendono correntemente per « rifiuti » tutti i materiali di scarto solidi, putrescibili e non, ad eccezione dei cadaveri e degli escrementi.

I componenti dei rifiuti sono classificati, in relazione alle caratteristiche che di volta in volta vanno prese in esame, in vario modo: ad es.: putrescibili, combustibili, ecc..., o più specificatamente, avanzi di cucina, oggetti abbandonati, rifiuti industriali e simili.

Può anche essere necessaria una descrizione delle origini di questi materiali, dal momento che i servizi municipali generalmente non includono i residui industriali, nella loro attività di raccolta e allontanamento.

Residui della cucina: sono « residui della cucina » tutti i rifiuti putrescibili sia di origine animale che vegetale, risultanti dalla preparazione, cottura e consumo dei cibi.

Spazzature: costituiscono « spazzature » tutti i rifiuti risultanti dalla spazzatura sia domestica che stradale, escluse le ceneri; esse sono costituite da materie combustibili e non, come carta, cartone, scatole, stracci, legno, vetro, metalli, inerti polverosi, ecc.

Ceneri: si intendono per « ceneri » i residui della combustione di qualunque materiale.

Rifiuti industriali: sono « rifiuti industriali » i residui solidi derivanti da processi industriali di qualsiasi genere.

QUANTITATIVI

I tecnici che si occupano del particolare settore difficilmente possono disporre di valori medi delle caratteristiche qualitative e quantitative dei rifiuti basandosi su casi che presentino alcune analogie, per utilizzarli nel dimensionamento dei servizi municipali di raccolta e allontanamento delle immondizie. Molti sono gli elementi che possono influenzare l'entità dei quantitativi totali dei rifiuti. Fra questi vi sono: le attività industriali e commerciali, l'efficienza e la frequenza della raccolta, la posizione geografica dell'agglomerato, i fattori stagionali, le abitudini e le condizioni economiche della popolazione e le modalità delle operazioni di recupero.

Le quantità di rifiuti debbono essere sempre valutate sulla base del loro peso. E' chiaro infatti che i dati espressi in peso sono più attendibili che quelli espressi in volume, per uno studio comparativo, in quanto questi ultimi sono più facilmente influenzati dai sistemi locali di raccolta. Per esempio, l'uso di automezzi del tipo « a costipamento » invece di quelli a cassone aperto, può modificare le misure espresse in volume in misura molto sensibile.

Dati medi nazionali possono essere utili solamente per confrontare in un quadro generale i risultati ottenuti nei servizi di nettezza urbana.

La tab. 1 indica i quantitativi medi di rifiuti in U.S.A., classificati nelle varie categorie (relazione A.P.W.A. Chicago) nell'anno 1944 ⁽¹⁾.

TABELLA 1.

Media Nazionale dei quantitativi dei rifiuti raccolti nelle municipalità U.S.A.
(Kg./abit. giorno).

Categorie	Estivo		Invernale minimo		Media annuale
	minimo	massimo	minimo	massimo	
Rifiuti di cucina	0,09	1,00	0,04	0,65	0,27
Spazzatura	0,23	0,82	0,18	0,65	0,45
Ceneri	0,04	0,70	0,64	1,35	0,50
Rifiuti di cucina e spazz. combust. .	0,18	1,70	0,14	1,20	0,55
Rifiuti di cucina e spazz. non comb. .	0,09	1,60	0,18	2,40	0,75

I valori dei quantitativi di rifiuti riscontrati negli anni passati, benchè attendibili in sè, non possono tuttavia essere presi a base di previsioni, in quanto tali dati sono attualmente in rapida evoluzione: negli ultimi 25 anni i quantitativi di materie combustibili, e particolarmente della carta, sono triplicati; i residui della cucina invece sono diminuiti da quando il consumo di cibi congelati e in scatola è aumentato nei confronti di quelli freschi. Le ceneri sono notevolmente diminuite da quando i combustibili liquidi ed il gas hanno sostituito il carbone negli impianti di riscaldamento.

COMPOSIZIONE

In taluni sistemi di deposito di rifiuti può avere importanza conoscere la loro composizione fisica e chimica, e le relative variazioni periodiche.

Nella Fig. 1 è illustrato l'andamento mensile delle caratteristiche dei rifiuti nei terreni di bonifica di New York, espressi in per cento ⁽²⁾.

La Tab. 2 indica invece la composizione percentuale dei rifiuti provenienti dalle spazzature di alcune città italiane ed europee negli anni 1933-'36 ⁽³⁾.

TABELLA 2.

Composizione percentuale dei rifiuti di città italiane ed europee.

Percentuale di recupero	A	B	C	D		E	F
	18 ^o / _o	12,5	10 ^o / _o	Sett. '33 20,4 ^o / _o	Marzo '34 21,2 ^o / _o	Aprile '34 23,2 ^o / _o	Luglio '36 35 ^o / _o
<i>Oggetti recuperati:</i>							
Carta	48	81,70	50	56,5	54	45	53
Stracci	15,1	9,11	10	14,5	15	15	13
Ossa	6	2,68	15	5	10	15	8
Metalli vari	13,70	8,58	20	6	,5	4	25,5
Vetri, porcellane	9,2	9,29	10	16	10	19	
Combustibili	4,5		—				
Varie: (gomma, cuoio, sughero, ecc.)		8,66	15	2	1,5	3	0,5

- A - Media in alcune città italiane: Modena - Bergamo - Arezzo - Prato - Pistoia (cernita accurata).
 B - Genova (risultato di 1 sola giornata; cernita non accurata).
 C - Germania (bassa percentuale di recupero derivante dalle preventive cernite nelle case).
 D - Bordeaux (cernita accurata).
 E - Rouen (cernita accurata).
 F - Nancy (cernita accurata).

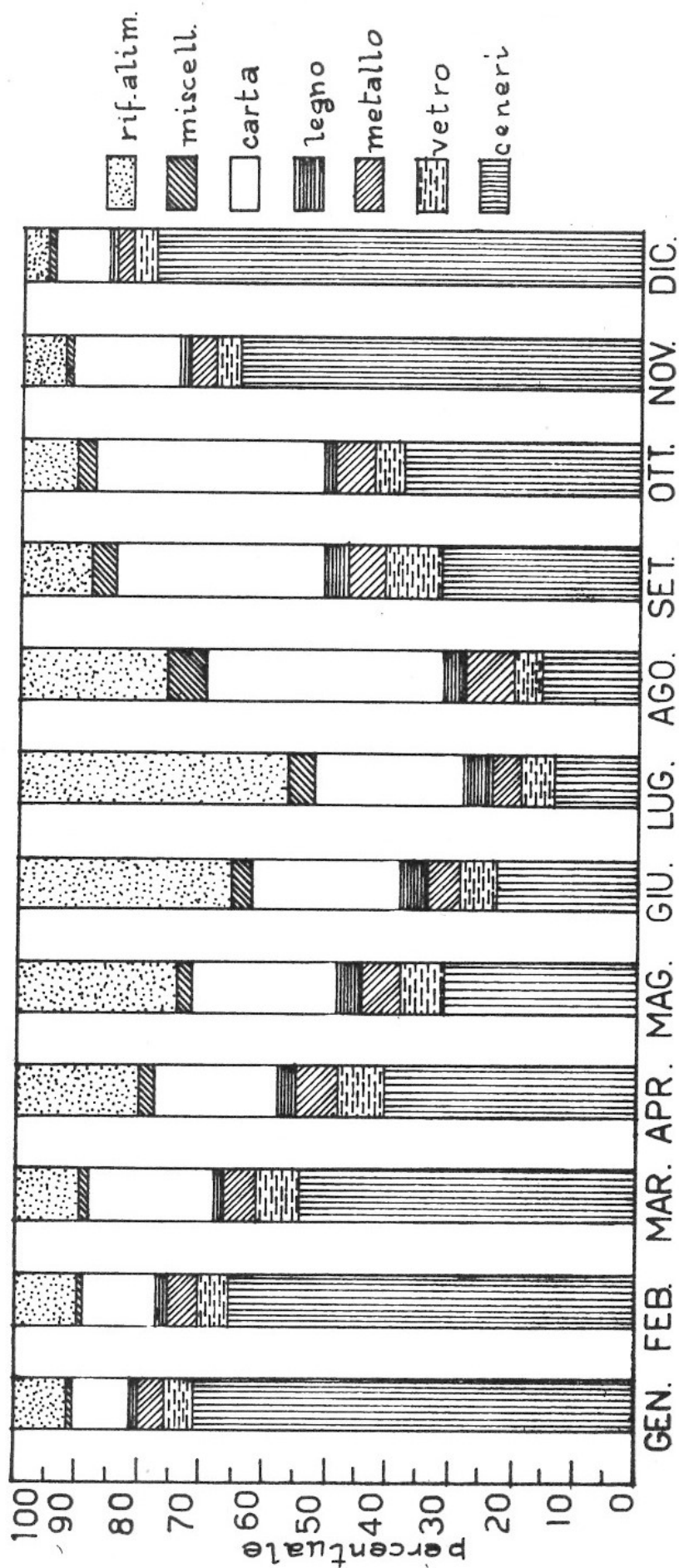


Fig. 4. - Andamento delle caratteristiche medie mensili di materiale fresco di rifiuto, giunto nel « Sanitary Landfill » di New York, espresso in percentuale in peso.

Il contenuto di umidità ha importanza notevole per la regolarità di alcuni trattamenti dei rifiuti, e specialmente per l'incenerimento e la fermentazione.

Alcuni dati medi sulla umidità e sul potere calorifico dei rifiuti raccolti durante un periodo di tempo asciutto in alcune città degli Stati Uniti, sono esposti nella tab. 3 (4).

TABELLA 3.

Contenuti medi di umidità e potere calorifico del materiale di rifiuto secco.

Materiale	% umidità	% Combust. organici	Potere calorifico Cal Kg. (secco)
Rifiuti di cucina	70 - 90	93	3.700
Carta	10 - 40	95	4.200
Spazzatura	50	92	4.400
Legno	30	98	4.600
Rifiuti combustibili misti	35	90	4.400

Al riguardo della composizione dei materiali di rifiuto le tab. 4 e 5 danno una indicazione dei risultati di una estesa serie di analisi, condotte presso la università di Berkeley, nel 1951 (5).

TABELLA 4.

Composizione fisica

Componenti fisici	% in peso
Rifiuti vari	7,6
Scatole di latta	9,8
Altri metalli	0,9
Bottiglie e vetri	11,7
Stracci	1,6
Materie organiche	67,7

TABELLA 5.

Composizione chimica

Componenti chimici	% in peso
C	35,7
N	1,07
Ph (P ₂ O ₅)	1,16
K (K ₂ O)	0,83
Umidità	49,3
Ceneri	28,5

SISTEMI E MEZZI DI RACCOLTA DEI RIFIUTI

Particolare importanza riveste, sia da un punto di vista igienico che di decoro il problema del prelievo, fatto a domicilio delle immondizie.

Mentre per i rifiuti stradali, l'uso di appositi contenitori semplifica le operazioni di travaso della spazzatura negli automezzi, nel caso dei rifiuti domestici risulta più difficile assicurare il trasferimento delle

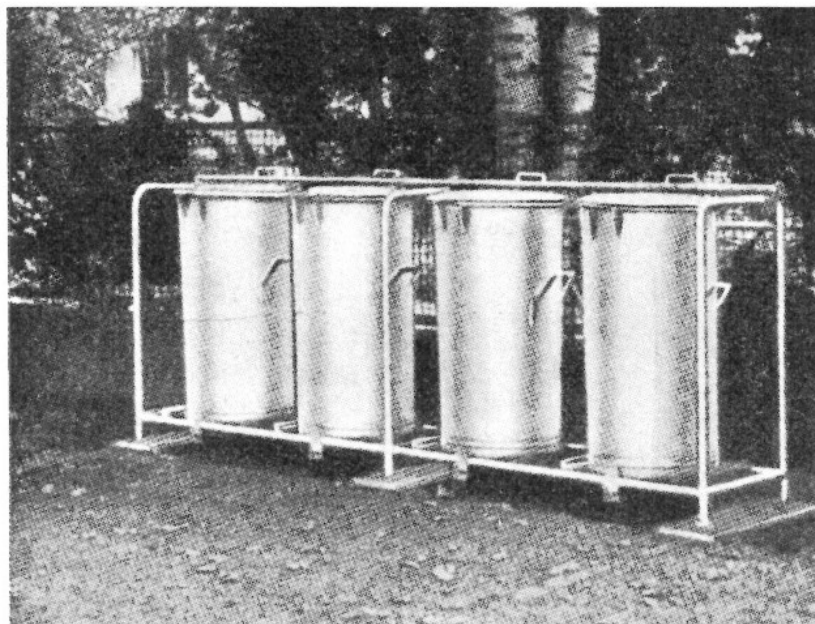


Fig. 2. - Sistemazione stradale di un gruppo di contenitori.

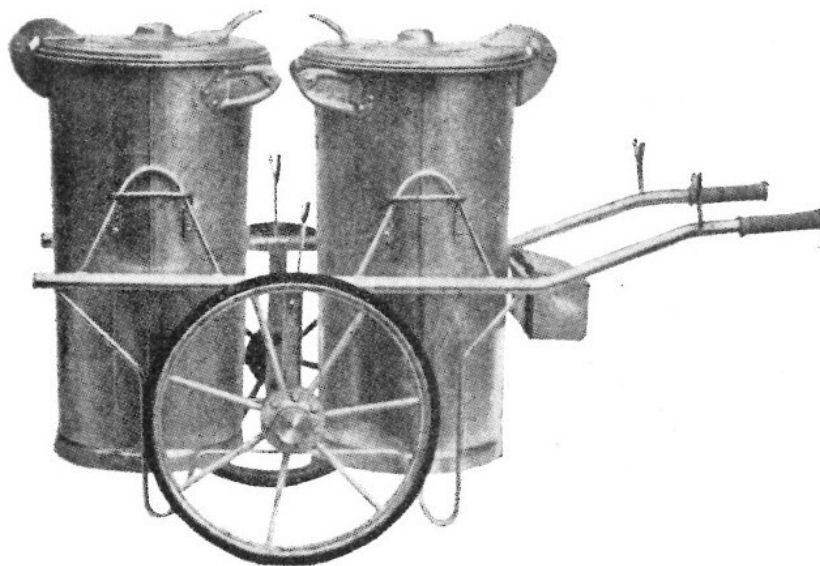


Fig. 3. - Tipo di carrello porta-contenitori.

immondizie dal domicilio dell'utente all'autocarro adibito al trasporto, salvaguardando l'igiene.

Solo quando sia reso obbligatorio, anche per i privati, l'uso di contenitori normalizzati che possono essere introdotti nelle bocche di carico degli automezzi in modo tale da evitare la fuoriuscita di polvere o di

parte del contenuto, durante il rovesciamento del secchio, è possibile che tali operazioni avvengano in modo spedito ed igienico.

La sistemazione dei bidoni negli stabili e nelle strade è un altro aspetto del problema, che deve essere preso in considerazione. Nel caso dei residui stradali, i bidoni conviene siano sistemati all'esterno, lungo i viali, possibilmente in vicinanza di un idrante, e opportunamente distanziati lungo il percorso dell'automezzo adibito alla raccolta; un esempio di sistemazione stradale di un gruppo di contenitori è illustrato nella fig. 2 (6).



Fig. 4. - Disposizione dei contenitori sulla parete.

Altrimenti la raccolta dei rifiuti stradali può avvenire in prefissati luoghi di convegno dove si raduna il personale assegnato alla spazzatura di una certa zona; lo svuotamento dei contenitori alloggiati in appositi carrelli del tipo illustrato nella fig. 3 (7), è rapida ed innocua.

Per i rifiuti domestici, la soluzione ideale sarebbe quella di disporre i bidoni, del tipo normalizzato, all'esterno sistemandoli su appositi supporti disposti sulla parete.

Tale soluzione consente anche di rendere inamovibili i bidoni da chi non è addetto al servizio, e di tenerli sollevati da terra, pur rendendo possibile il distacco senza eccessiva fatica, mediante gli appositi carrelli (fig. 4) (6).

Una obiezione che si può porre alla adozione del suddetto sistema, riguarda la difficoltà di trovare negli stabili una zona adatta per allog-

giare i contenitori; la fig. 5 illustra un esempio in cui il bidone è alloggiato in una cella chiusa. Si raccomanda in tale caso di provvedere a una sufficiente aerazione dell'ambiente, e di fornire il pavimento di una griglia di scarico per raccogliere le acque di lavaggio.

Quando i bidoni debbono servire agli inservienti per il ritiro dei rifiuti direttamente a domicilio, si fa uso di contenitori forniti di un apposito sistema di cinghie, che consente un più agevole trasporto del recipiente (fig. 6) (6).

Tali bidoni dovrebbero sostituire completamente l'uso degli anti-

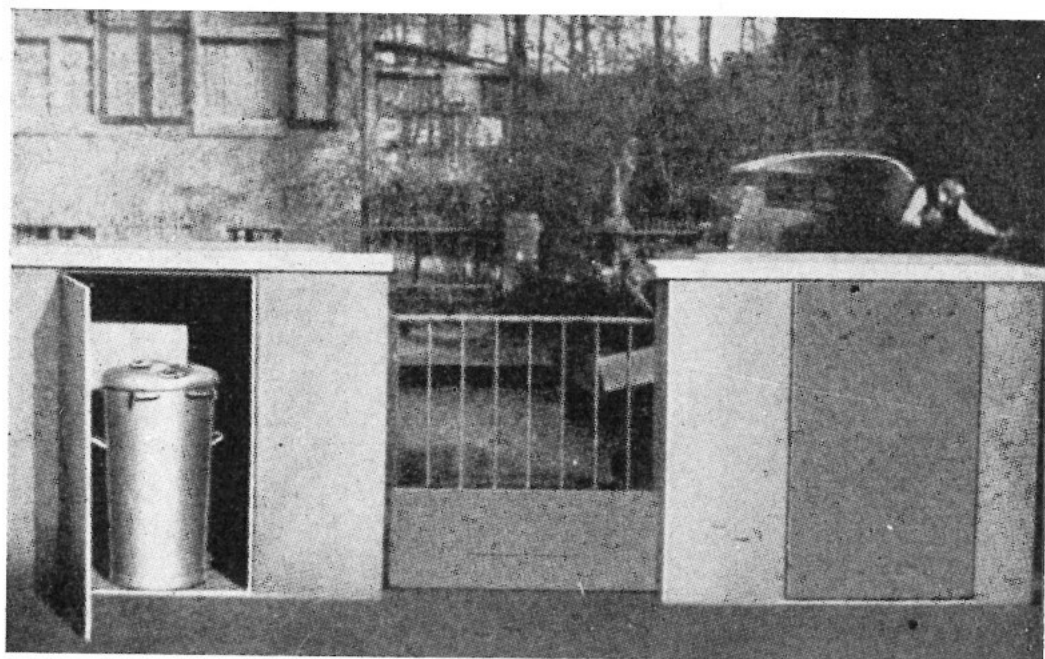


Fig. 5. - Disposizione del contenitore in una cella chiusa.

igienici sacchi, che port troppo vengono ancora adoperati in molti casi, per il prelievo a domicilio delle immondizie.

Forma e capacità dei contenitori, debbono essere tenuti presenti, onde assicurare robustezza, maneggevolezza, facilità di lavaggio e capienza adatte allo scopo.

Al riguardo della forma, la maggior parte dei tecnici sono d'accordo nel preferire quella cilindrica, o tronco conica, evitando la presenza di angoli, o rilievi interni, al fine di rendere perfettamente e rapidamente lavabili i contenitori.

I particolari costruttivi dei coperchi sono importanti, perchè questi debbono garantire una buona chiusura, e consentire il facile travaso negli automezzi di raccolta. Possono usarsi coperchi del tipo incernierato,

purchè l'insieme risulti solidamente costruito, come nell'esempio della fig. 7 (6).

Si può far uso di coperchi applicati senza cerniera, purchè forniti di bordo sufficientemente alto [Regolamento Inglese del 1947 - B.S.S. (*)].



Fig. 6. - Contenitore del tipo a gerla.

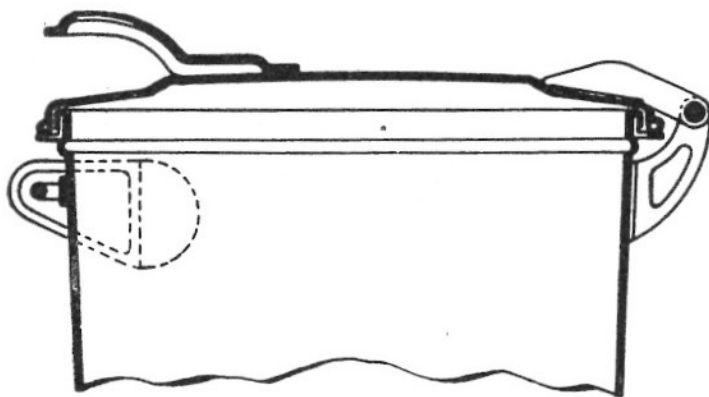


Fig. 7. - Particolare del sistema di chiusura del coperchio di un contenitore.

I materiali generalmente impiegati nella costruzione dei contenitori sono: lamiera di acciaio zincata, anticorodal, acciaio inossidabile.

Quest'ultimo per le sue doti di resistenza e di inalterabilità sembrerebbe il più idoneo, tuttavia motivi derivanti principalmente dal suo alto costo non ne hanno permesso finora la generalizzazione.

Pertanto, viene usata di preferenza la lamiera di acciaio zincata, oppure quella di anticorodal, quando la esigenza di limitare il peso del contenitore entro certi limiti, giustifichi una maggiore spesa.

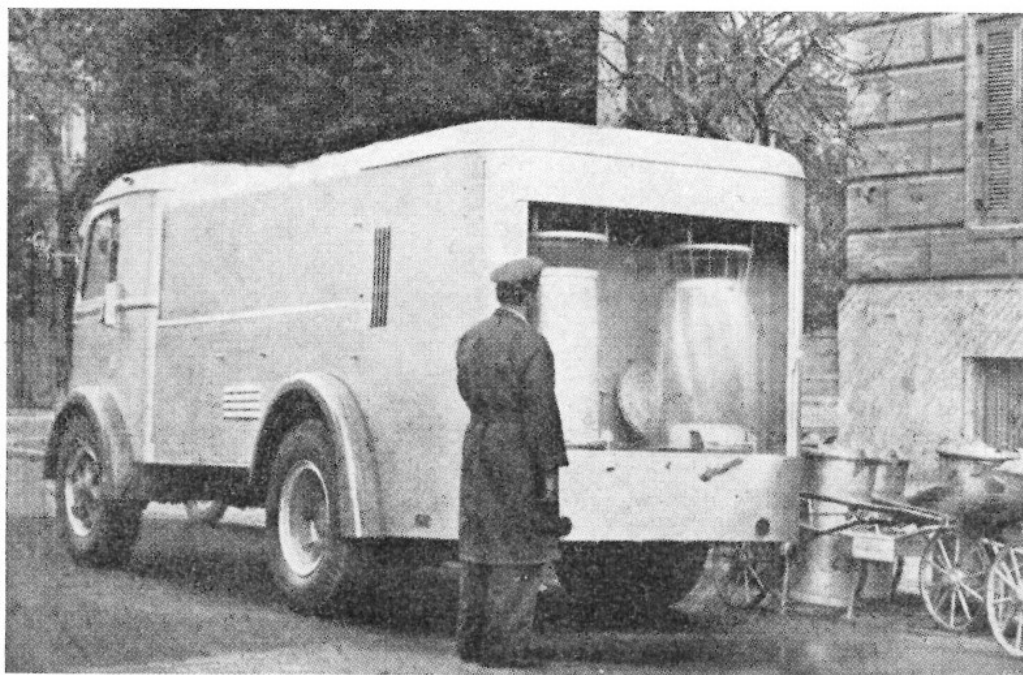


Fig. 8. - Veicolo adibito al lavaggio e disinfezione dei contenitori.

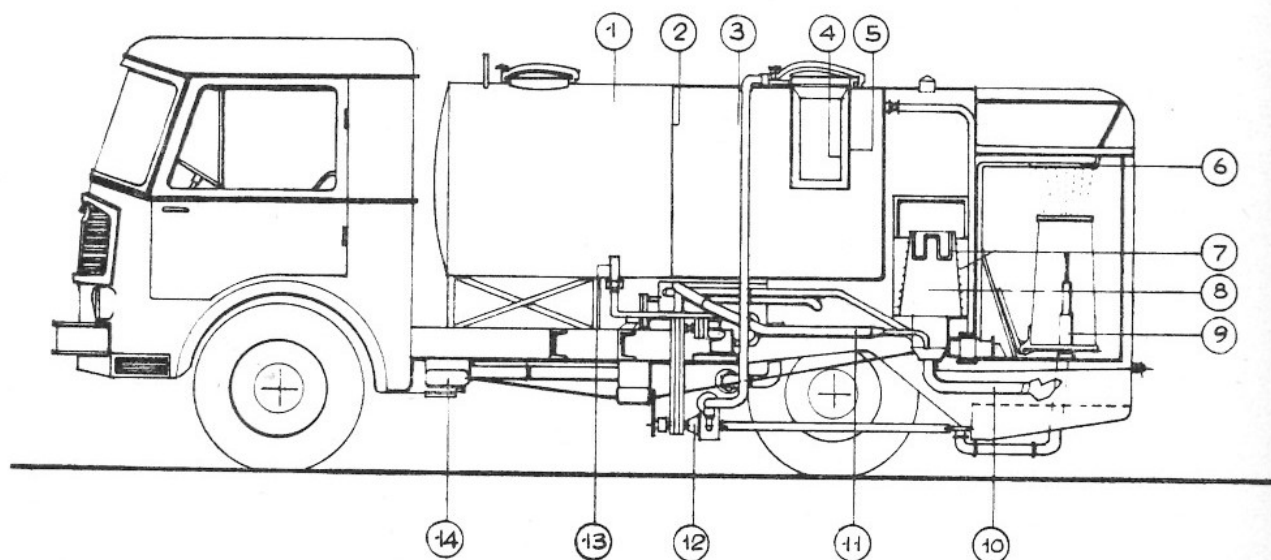


Fig. 9. - Sezione longitudinale del veicolo illustrato in fig. 8. - 1) Serbatoio acqua limpida; 2) Serbatoio acqua di risulta; 3) Diaframma serbatoio; 4) Filtro; 5) Filtro; 6) Corona ugelli lavaggio esterno bidoni; 7) Serpentina; 8) Riscaldamento acqua lavaggio; 9) Mulinello lavaggio interno bidone; 10) Condotto aria calda; 11) Bocca soffiante; 12) Pompa acqua di risulta; 13) Filtro; 14) Presa di forza.

Il lavaggio e la disinfezione dei bidoni può essere compiuta per mezzo di autoveicoli attrezzati per questo lavoro; in tal modo si rende possibile attuare il lavaggio e la disinfezione dei bidoni, non appena

avvenuto il loro vuotamento, e quindi nel luogo stesso del loro impiego.

Un disegno e uno schema illustrativo del funzionamento di tale veicolo sono riportati nelle figg. 8-9 (7).

La possibilità di poter compiere il lavaggio a vapore surriscaldato e la disinfezione liquida dei bidoni sul luogo stesso di impiego, per mezzo di automezzi attrezzati allo scopo, è certamente consigliabile da un punto di vista igienico, ed è cosa più accettata da parte degli utenti, sia perchè questi possono personalmente controllare il lavaggio e la disinfezione, sia perchè si evita lo scambio dei recipienti, che si verificherebbe qualora tali operazioni fossero compiute in un impianto centrale.

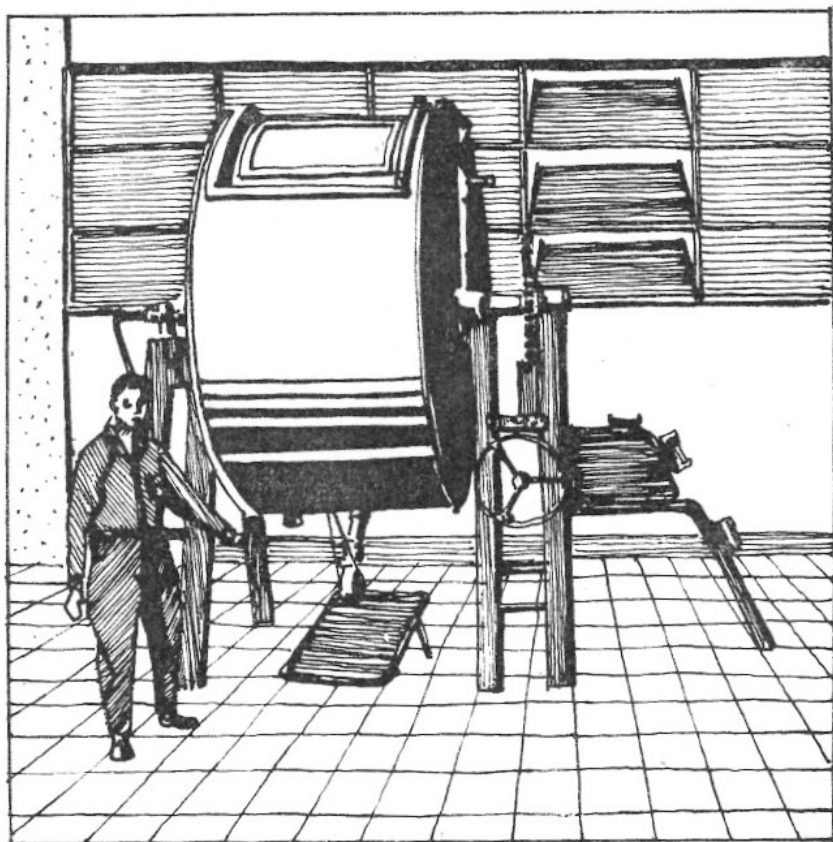


Fig. 10. - Macchina per il lavaggio e disinfezione dei sacchi.

L'impiego di sacchi, quali mezzi di trasferimento delle immondizie dal domicilio dell'utente all'automezzo addetto al trasporto, come già accennato, è ancora, abbastanza diffusamente usato.

Tale abitudine è giustificata dalla facilità di trasporto e dall'esiguo peso a vuoto che offre il sacco.

Benchè si debba tendere ad eliminare questo mezzo per sostituirlo con contenitori che offrono più sicure garanzie igieniche, si raccomanda, quando si ricorra ai sacchi, di provvedere a un frequente lavaggio e disinfezione di questi. Esistono a tale scopo macchine appositamente costruite, del tipo illustrato nella fig. 10.

MEZZI DI TRASPORTO DEI RIFIUTI

Una classificazione dei mezzi adibiti al trasporto dei rifiuti, può essere fatta sulla base della seguente suddivisione:

- 1) veicoli a cassone aperto;
- 2) veicoli a cassone chiuso con riempimento manuale;
- 3) veicoli a cassone chiuso con riempimento meccanico e senza costipamento;
- 4) veicoli a cassone chiuso con riempimento meccanico e con costipamento.

L'uso dei veicoli del primo tipo, che una volta erano di impiego generale, ora va rapidamente scomparendo per essere questi sostituiti da

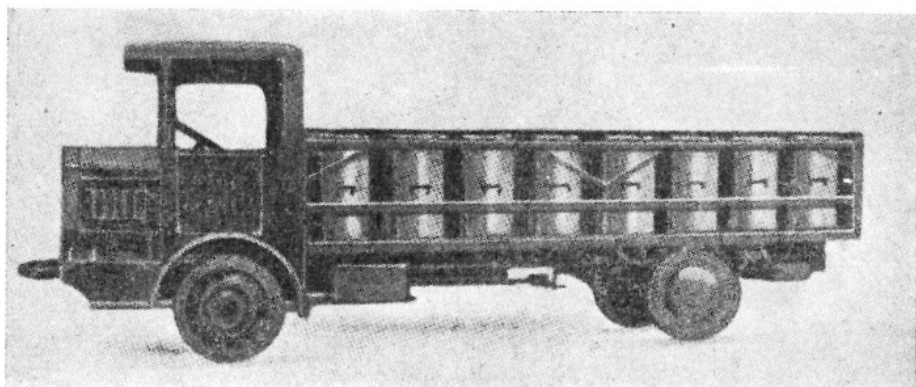


Fig. 11. - Automezzo per il trasporto dei rifiuti a « ricambio di bidoni » (Berlino, 1910).

automezzi con cassone chiuso. Tali veicoli offrono quelle garanzie di igiene e di decoro, richieste per l'espletamento dei servizi di nettezza urbana.

Sin dal 1910 esisteva a Berlino un servizio di autotrasporti, realizzato con il cosiddetto sistema a « ricambio di bidoni » destinato a sostituire i veicoli a cassone aperto fino allora usati; un autoveicolo attrezzato con una serie di telai portabidoni, serviva per il trasporto dei contenitori ermeticamente chiusi, dal luogo del prelievo a quello di smaltimento (vedi fig. 11).

Il basso rapporto tra portata utile e peso proprio del mezzo attrezzato nonchè la laboriosità delle operazioni di carico e scarico dei singoli contenitori fecero cadere in disuso tale sistema, mentre si trovò più conveniente ricorrere ad automezzi dotati di un unico cassone, fornito di

parecchie bocche di carico, sulle quali veniva rovesciato il contenitore; il primo di tali automezzi venne usato a Vienna, ed è illustrato nella fig. 12.

Veicoli di tale tipo sono ancora oggi prodotti da alcune fabbriche specializzate e, purchè forniti di dispositivo di travaso antipolvere, possono essere convenientemente usati dalle Amministrazioni comunali di

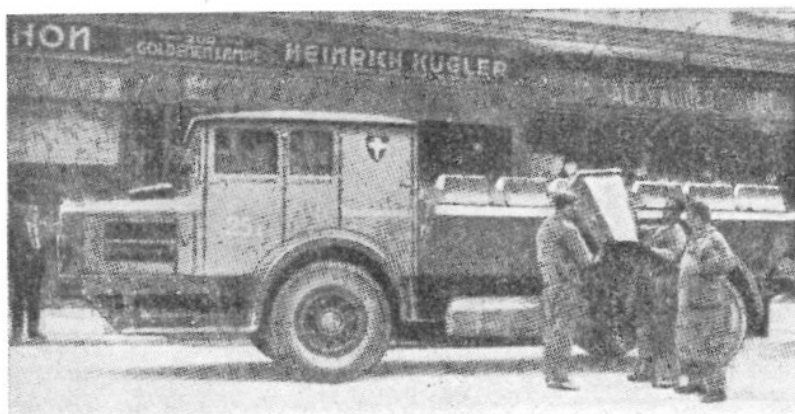


Fig. 12. - Veicolo per il trasporto dei rifiuti a bocche di carico multiple (Vienna, 1912).

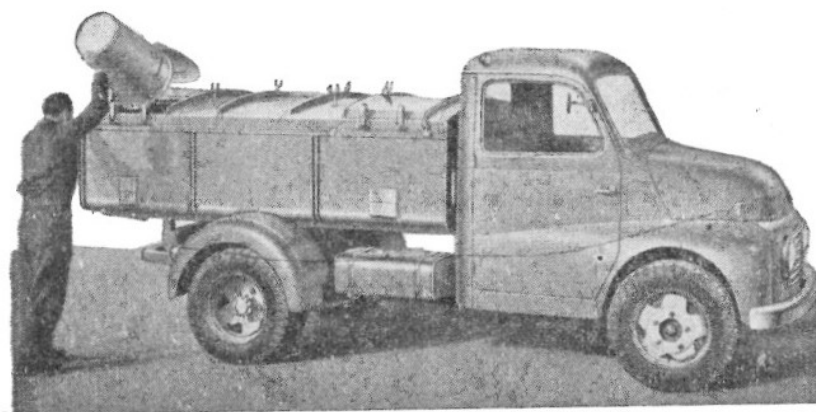


Fig. 13. - Veicolo per il trasporto a bocche di carico multiple di recente fabbricazione (3).

piccoli centri per i quali l'acquisto di automezzi forniti di dispositivi meccanici di riempimento, risulta troppo gravoso. La fig. 13 illustra un veicolo di tale tipo di recente fabbricazione ⁽⁶⁾.

La necessità di sfruttare meglio i veicoli, ottenendo un carico maggiore di materiale, a parità di ingombro, ha portato alla introduzione del costipamento dei rifiuti contenuti nell'interno del cassone. Vari sono i sistemi usati per ottenere tale costipamento, che può essere determinato, o dalla spinta esercitata da un elemento mobile (un diaframma spo-

stabile o una pala elicoidale: fig. 14) (7) oppure dallo stesso peso del materiale che agisce quale elemento costipatore della massa: una successione di ribaltamenti del cassone determina, per gravità, una azione compri-
mente sulla massa.

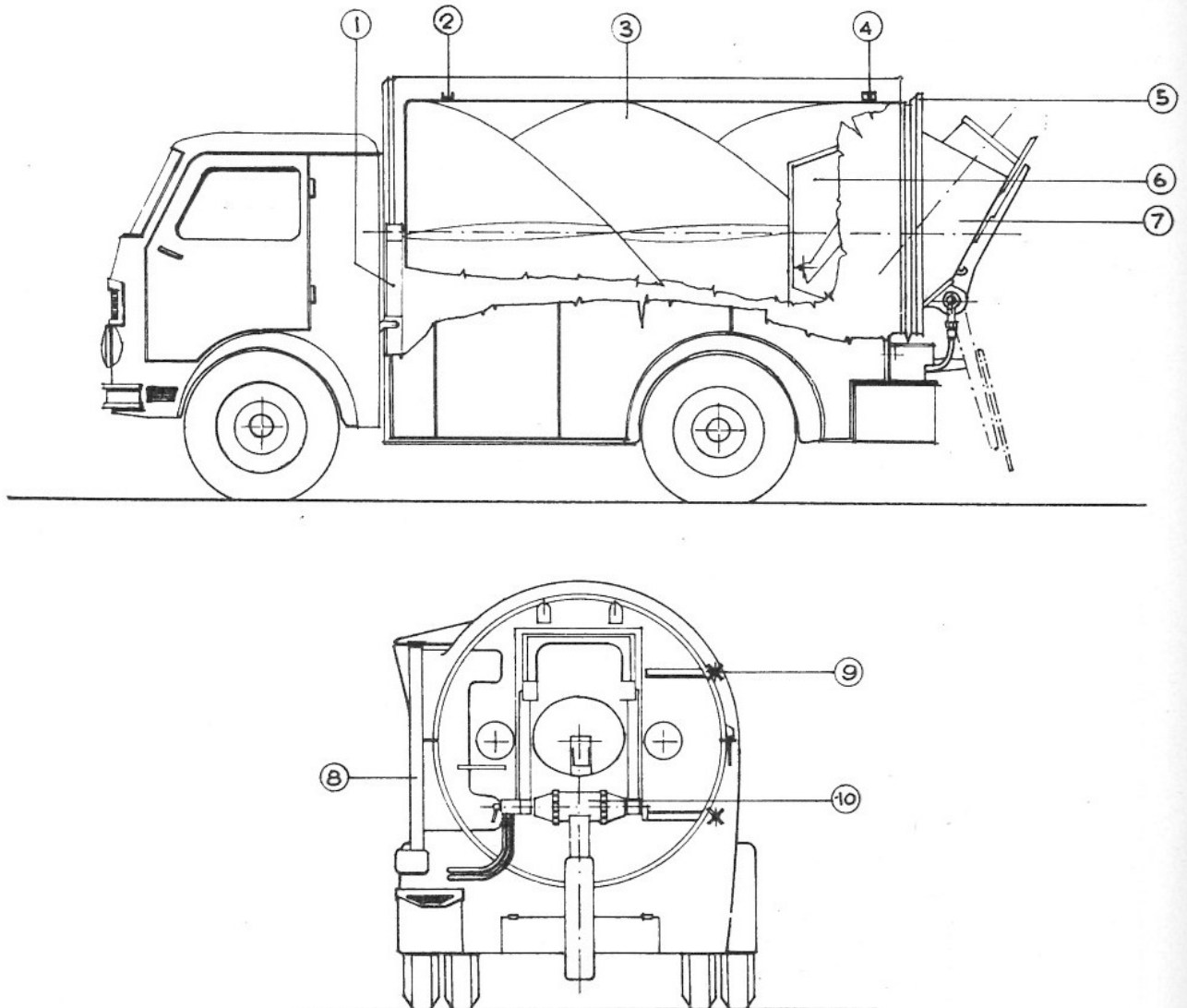


Fig. 14. - Particolare del dispositivo costipatore a pala elicoidale. - 1) Cavalletto anteriore; 2) Corona con catena per rotolamento tamburo; 3) Interno tamburo; 4) Cerchio posteriore di rotolamento; 5) Sportellone di chiusura; 6) Cono di caricamento; 7) Bocca di carico antipolvere; 8) Montante cerniera dello sportello; 9) Galletto chiusura dello sportello; 10) Volta bidoni;

Se si tiene presente che il peso specifico dei rifiuti solidi urbani è mediamente di $300-350 \text{ kg/m}^3$, si vede che per trasportare dalle 4 alle 6 tonn. di materiale, portata dei veicoli medi-pesanti, sarebbero necessarie rispettivamente da 13 a 20 m^3 di capacità del cassone.

Da questi dati si deduce la necessità economica di compiere il costipamento dei rifiuti, in modo da ottenere uno sfruttamento integrale del-

le capacità di carico dell'automezzo. Nella tab. 6 sono indicate le caratteristiche di alcuni automezzi attrezzati di produzione nazionale forniti di costipatore meccanico.

TABELLA 6.

Caratteristiche di automezzi attrezzati di produzione nazionale.

Tipo	Costipamento	Capacità serbatoio	Portata utile	Volume immondizie sciolte caricate	Tipo di caricamento
		mc.	Q.li	mc.	
Tudini & Talenti (FIAT 642/N/2) .	ad elica	8	36	12	Voltabidoni meccanico
Tudini & Talenti (OM Leoncino) .	» »	4,5	18	6	» »
Bergomi « I » (FIAT 642/N) .	con diafram compressore	9	40	13	» »
Bergomi « I » (FIAT 670/N) .	» » » »	13	65	21	» »

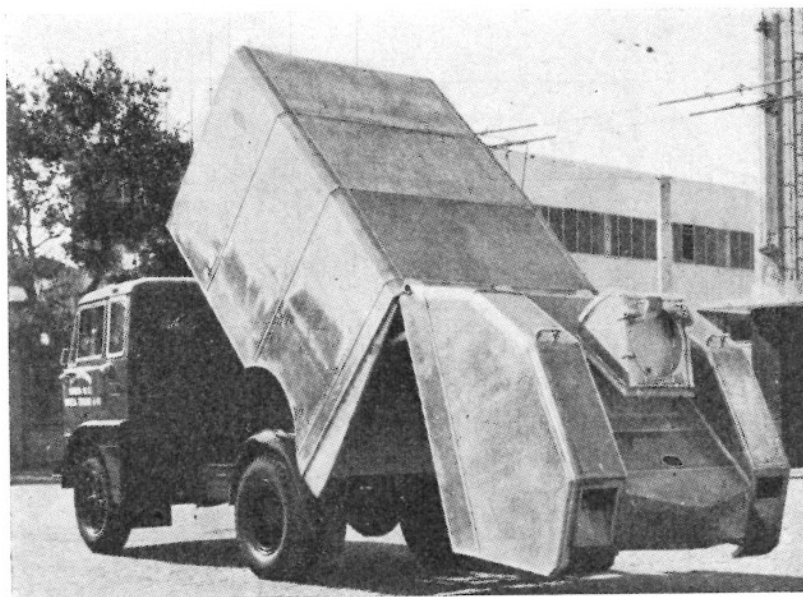


Fig. 15. - Automezzo attrezzato con dispositivo idraulico di costipamento.

Le figg. 15-16-17 illustrano le caratteristiche costruttive di alcuni tipi di automezzi attrezzati per il trasporto dei rifiuti, di produzione italiana.

Particolare cura è riposta nella realizzazione del sistema di carica-

mento delle immondizie, fatto in modo che durante le operazioni di travaso non si abbia fuoriuscita di polvere. I mezzi tecnicamente più progrediti sono dotati di volta-bidoni automatici, con bocca di caricamento antipolvere, e dispositivo di depressione nel serbatoio durante il travaso.

Quando le immondizie sono raccolte negli appositi bidoni, il dispositivo funziona in modo che il coperchio del contenitore si apra soltanto

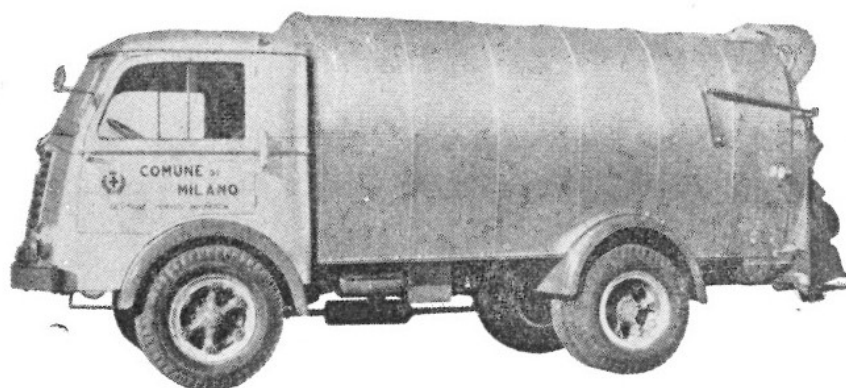


Fig. 16. - Autoveicolo con costipatore a pala elicoidale (5).

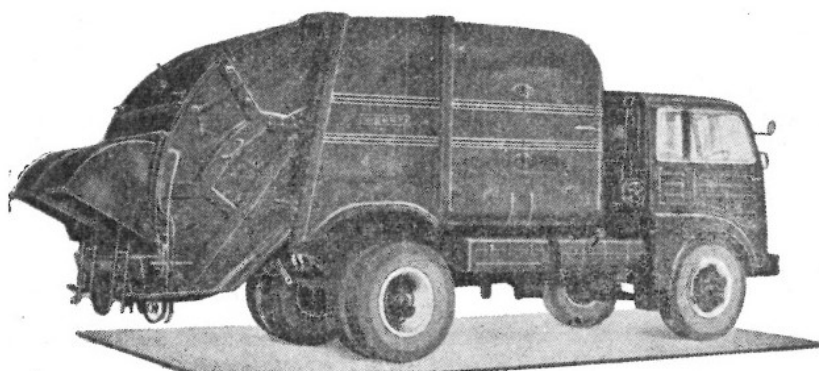


Fig. 17. - Carro da 10 m³ attrezzato con pala costipatrice.

quando questo si trova in una camera chiusa separata dall'esterno. Se il prelievo delle immondizie è fatto a mezzo di sacchi, può essere installato un dispositivo voltasacchi automatico, avente caratteristiche analoghe a quelle precedentemente descritte per i voltabidoni. Tali sistemi garantiscono la salvaguardia della igiene, sollevano da lavoro gravoso il personale addetto a tali mansioni, e impediscono che venga compiuta quella cernita abusiva sul luogo di raccolta, che spesso si verifica negli automezzi a cassone aperto.

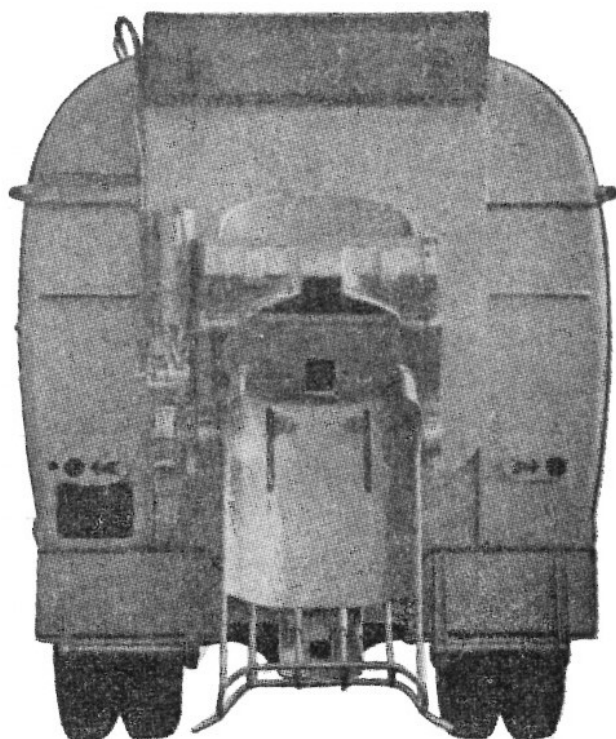


Fig. 18. - Particolare del dispositivo volta sacchi.



Fig. 19. - Particolare del dispositivo volta bidoni.

Nelle figg. 18-19 sono chiaramente illustrati i particolari delle bocche di caricamento e dei dispositivi voltasacchi e voltabidoni, installati in alcuni tipi di automezzi ⁽⁶⁾ ⁽⁷⁾.



Fig. 20. - Operazione di vuotamento di un automezzo fornito di costipatore a diaframma.

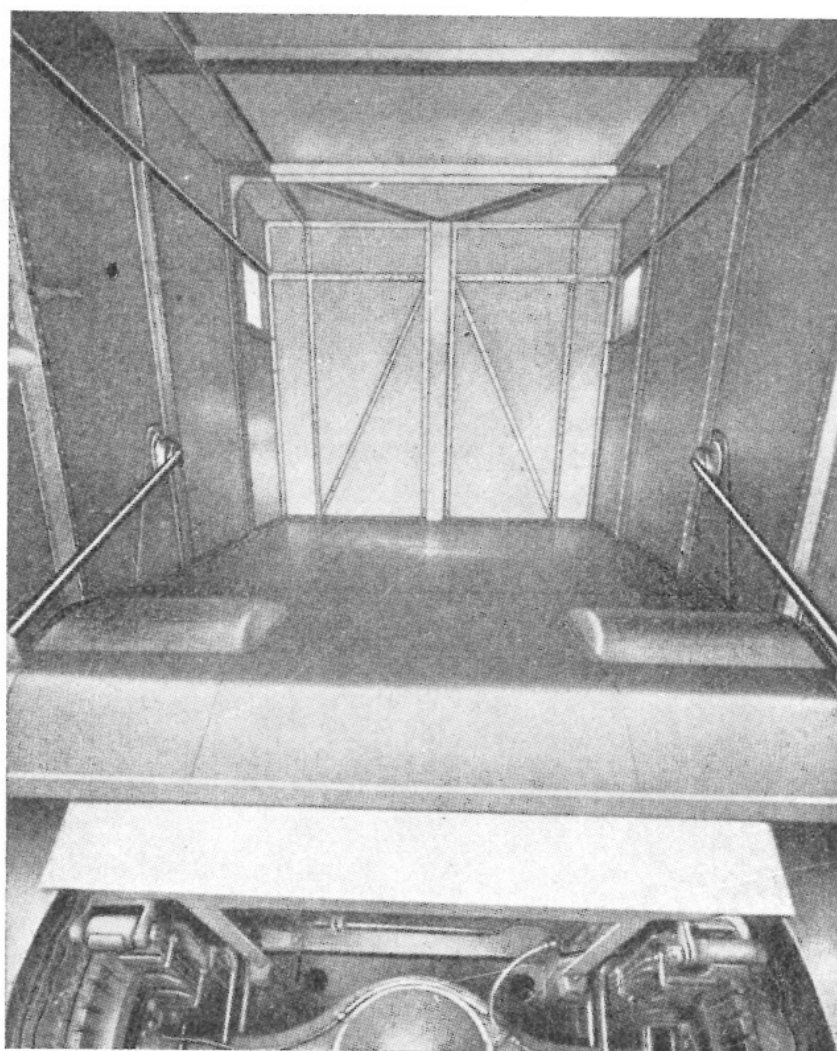


Fig. 21. - Interno del serbatoio dell'automezzo illustrato alla Fig. 20.

E' raccomandabile che gli autoveicoli adibiti al trasporto delle immondizie, siano costruiti in modo da poter effettuare con relativa facilità i lavaggi e le periodiche disinfezioni; ciò significa che questi debbono essere forniti di carrozzerie quanto più possibile prive di elementi nei quali potrebbero annidarsi polvere e rifiuti, questo requisito è assolutamente necessario per l'interno del serbatoio contenitore.

Quanto più le pareti di quest'ultimo saranno lisce, e gli angoli accuratamente raccordati, tanto più completo sarà il vuotamento del cassone all'atto del ribaltamento (vedi fig. 20) (6) e facilitate le operazioni di lavaggio e di disinfezione. Nella fig. 21 è illustrato l'interno di un cassone di un veicolo adibito al trasporto delle immondizie.

RECAPITO DEI RIFIUTI

I servizi di raccolta hanno lo scopo di ritirare e concentrare i rifiuti in uno o più punti di deposito; alla raccolta segue un sistema di trattamento e collocamento finale rispondente alle esigenze particolari.

Finchè il volume dei rifiuti è grande, (per es. corrispondente a 100 tonnellate all'anno) l'obiettivo principale da raggiungere è la riduzione del volume: ad es. l'incenerimento consente di ottenere riduzioni di volume fino all'85%, restando così solo un 15% di ceneri da recapitare in un'area di deposito finale.

Quando i rifiuti sono invece smaltiti con sistemi « di colmata », attuati bene inteso con metodi igienici, operazioni di costipamento e successivo consolidamento della massa possono portare a riduzioni del volume dell'ordine del 50%.

Una riduzione del volume dei rifiuti da trasportarsi nei centri di deposito e trattamento, può anche ottenersi attraverso separazioni preventive operate all'origine, in base a particolari criteri, quali ad es.: putrescibilità - combustibilità - pericolosità - ecc.

I dissipatori individuali dei rifiuti del tipo a triturazione alloggiati negli scarichi dei lavelli delle cucine, vanno sempre più diffondendosi nelle città dotate di un adeguato sistema di fognature. In alcuni casi si pratica la macinazione di immondizie in impianti centralizzati, e si ha in tal modo una riduzione sensibile del volume; il prodotto di tale macinazione è poi immesso nei medesimi impianti di trattamento delle acque luride.

Il recupero di carta, metallo, vetri, ed altri materiali di valore commerciale è in genere operazione difficile ed igienicamente pericolosa da attuarsi nei luoghi di raccolta, partendo dalle immondizie greggie.

Una realizzazione dei programmi di recupero dipende in massima parte dai sistemi impiegati per la raccolta ed il deposito dei rifiuti; per es., lo scatolame metallico può facilmente essere separato dal residuo nei forni inceneritori.

Un'altra forma di recupero che ha recentemente determinato grande interesse è quella del trattamento della carta e dei rifiuti di cucina per ottenere prodotti fertilizzanti accettabili per usi agricoli.

A questa descrizione sommaria dei metodi attuati nelle operazioni di collocamento, trattamento e utilizzazione dei rifiuti seguirà una più dettagliata descrizione dei sistemi normalmente usati.

Sarà bene però, prima, elencare in modo sintetico, raggruppandoli per categorie, i vari sistemi, onde rendere sin d'ora più agevole una distinzione dei diversi metodi.

- | | | |
|---|---|--|
| A) Sistemi aventi come obbiettivo principale quello di rendere innocui i rifiuti senza utilizzarli. | { | metodo della bonifica per colmata. |
| B) Sistemi aventi come obbiettivo principale la utilizzazione dei rifiuti, quali concimanti. | { | metodo Boggiano-Pico
metodo Beccari
metodo di fermentazione controllata all'aperto |
| C) Sistemi aventi come obbiettivo principale la riduzione del volume dei rifiuti. | { | metodo dell'incenerimento |

BONIFICHE PER COLMATA

L'esperienza fatta in molte città ha mostrato che le operazioni di bonifica per colmata, attuate sotto condizioni che garantiscano la salvaguardia delle norme igieniche, costituiscono uno dei metodi più economici ed efficienti di collocamento dei rifiuti, a condizione che sia disponibile, entro ragionevoli limiti di distanza, un'area sufficiente ed adatta.

Considerazioni di carattere generale sulla scelta di una zona da adibirsi a bonifica per colmata riguardano: la superficie necessaria, la distanza di trasporto, le condizioni del suolo, le opere di protezione, l'utilizzazione finale e i metodi di operazione.

Non vi sono indicazioni particolari a cui attenersi nella scelta del luogo adibito alle operazioni di bonifica, come non esistono elementi di carattere generale da tenere presenti, purchè l'area prescelta sia sufficientemente estesa per questo tipo di operazioni.

Molto importante è la valutazione della superficie necessaria, tenendo presente che sarebbe desiderabile poter compiere le operazioni di bonifica sullo stesso terreno almeno per un anno, dato che un certo nu-

mero di operazioni di breve durata sarebbe troppo costoso particolarmente a riguardo della preparazione del terreno, e dei servizi ausiliari connessi.

Sulla base di esperienze condotte in molte zone adibite a operazioni di bonifica per colmata si è trovato che sarebbe sufficiente circa un ettaro di terreno ogni 20.000 abitanti, adottando una profondità di riempimento di $2 \div 2,5$ metri.

La distanza di trasporto è uno dei fattori più importanti nella scelta dell'area di bonifica. La sola distanza non costituisce però criterio determinante, in quanto entra in giuoco anche la facilità dei collegamenti fra centri di raccolta e aree di deposito.

Per quel che riguarda le condizioni del suolo, l'esperienza ha mostrato che il terreno migliore è quello a base sabbioso-argilloso. Gli automezzi debbono poter manovrare agevolmente su questo terreno: un contenuto eccessivo di sabbia ritarderebbe la manovra dei veicoli. L'argilla non è desiderabile in proporzione troppo elevata sia per la conseguente difficoltà di transito dei veicoli su terreno bagnato, sia perchè il materiale di ricoprimento con eccessivo contenuto di argilla, nelle stagioni più secche, potrebbe fessurarsi con inconvenienti di ordine igienico.

Le operazioni di deposito dei rifiuti non debbono impedire il naturale drenaggio del terreno: cunicoli, fossi, tubazioni di drenaggio, e qualunque altro provvedimento adeguato deve procedere di pari passo con il progredire del riporto. Una pendenza minima dell'4% dello strato di ricoprimento è sufficiente per assicurare lo scolo naturale dell'acqua meteorica, anche se il terreno non è perfettamente livellato.

L'esistenza di ripari sopraelevati in direzione dei venti prevalenti, impedisce il sollevamento di polvere e detriti durante le operazioni di scarico.

Un altro problema che sorge al riguardo delle bonifiche per colmata, è quello della utilizzazione finale delle aree adibite a tali operazioni: la migliore soluzione sarebbe di destinare questi terreni a uso agricolo, o a parco, escludendo comunque l'utilizzazione per scopi edificatori.

METODI DI OPERAZIONE PER LE BONIFICHE PER COLMATA

Due sono i sistemi principali per attuare la bonifica per colmata: il metodo della trincea, e quello per zone. Il secondo sistema si applica in quei terreni che sono già naturalmente così depressi (paludi, banchi di argilla, cave abbandonate...) che è sufficiente fare un semplice riempimento, e ricoprire con il terreno della zona adiacente.

METODO DELLA TRINCEA.

Secondo questo metodo si scava una trincea lunga da 30 a 100 metri, della profondità di circa un metro e larga da 4 a 6 metri.

Il materiale di scavo della trincea serve a costruire una rampa collegante il piano del riempimento della parte già ultimata; con il piano di campagna come illustrato nella fig. 22.

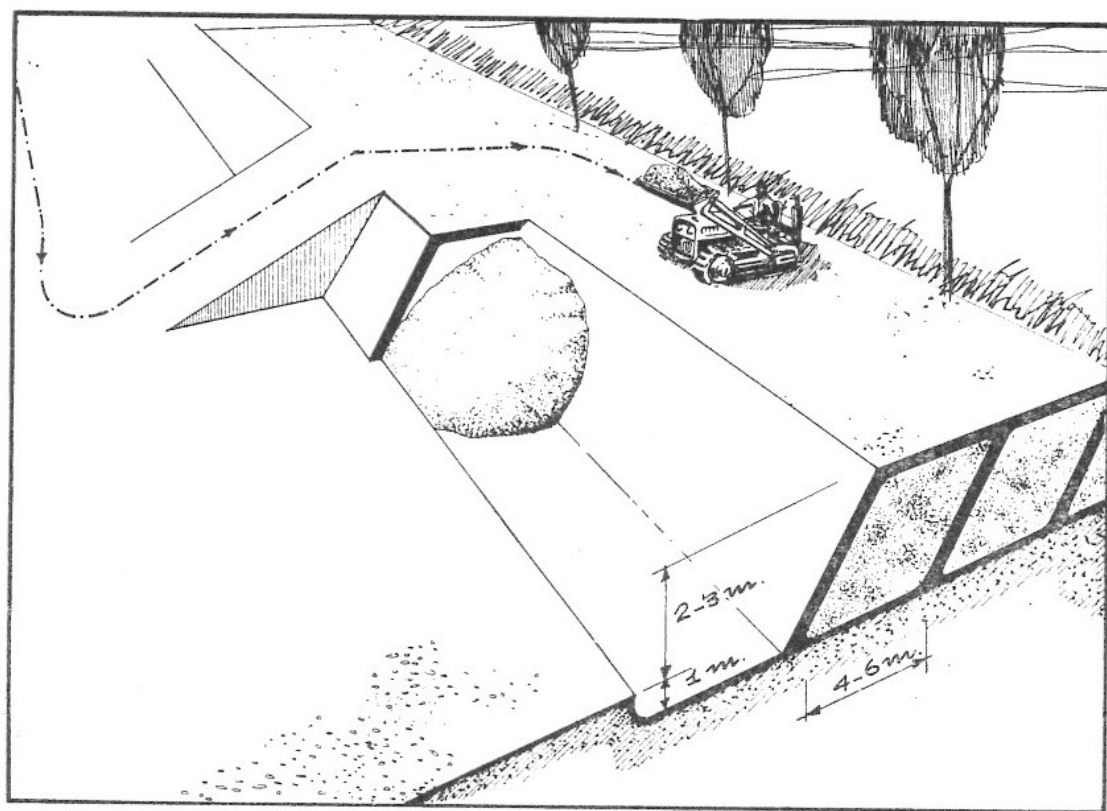


Fig. 22. - Operazioni di scarico dei rifiuti con il metodo della trincea.

I rifiuti vengono scaricati dagli automezzi direttamente nella trincea, in modo progressivo, ma è consigliabile che risultino ripartiti in strati di 30-60 cm e costipati mentre continuano le operazioni di scarico, nel corso della giornata. La soprelevazione del riempimento, rispetto al piano di campagna, dovrebbe essere di 2-3 metri. La lunghezza della trincea è proporzionata in base al criterio di eseguire le operazioni di scarico e di copertura nel corso della stessa giornata. Il materiale necessario per lo strato di ricoprimento, normalmente è quello risultante dallo scavo di una trincea adiacente.

METODO PER ZONE.

Terreni paludosi, argillosi, o che si sviluppano in pendio, possono essere utilizzati con facilità secondo un metodo di colmata per zone. I

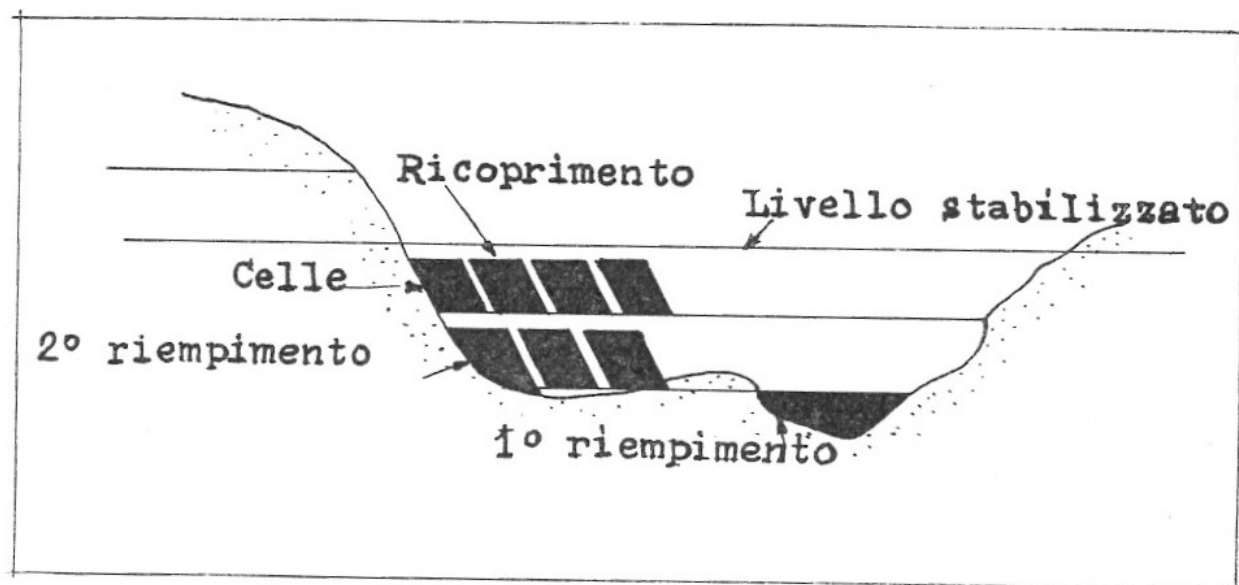


Fig. 23. - Successione delle operazioni di riempimento con il metodo di bonifica per zone.

rifiuti si spandono in strati di spessore variabile fra i 2 e i 3 metri, disponendo il materiale come nel caso precedente; la successione delle varie operazioni è illustrata nello schema della fig. 23.

EQUIPAGGIAMENTO MECCANICO PER LE OPERAZIONI DI BONIFICA PER COLMATA

E' evidente che l'impiego di mezzi meccanici come escavatori, bulldozer, draghe e simili abbrevia e facilita enormemente l'attuazione dei sistemi suddetti, sollevando anche il personale addetto dai compiti più gravosi ed antiigienici.

L'esperienza compiuta da un gran numero di amministrazioni comunali, particolarmente nel Canada e negli Stati Uniti in una vasta gamma di condizioni climatiche, ha mostrato che il trattore cingolato, munito di un dispositivo per sollevare e trasportare da 0,8 a 1,5 m³ è il più indicato per questo lavoro. Una appropriata scelta del tipo e della capacità del mezzo, dipende dal metodo di operazione, dalle caratteristiche del clima e del terreno, dalla popolazione servita e dalla disponibilità del materiale di copertura sul luogo di scarico.

I trattori del tipo anzidetto, a pala di scaricamento anteriore, sono stati trovati i più soddisfacenti, dal momento che risolvono tutti i problemi che si presentano nella bonifica per colmata, prestandosi egualmente bene ad essere utilizzati per scavare una trincea o un argine, per spandere e costipare i rifiuti e disporre il ricoprimento finale.

Il dispositivo di sollevamento in tali trattori è adatto anche per riempire gli autocarri, quando sia necessario trasportare il materiale di ricoprimento a una certa distanza.

La capacità di carico necessaria per i trattori a pala di caricamento, dipende indirettamente dalla popolazione servita. A tale proposito la « Cater Pillar Tractor Co. » ⁽⁹⁾ ha fornito alcuni dati per le capacità unitarie di carico illustrate nella tab. 7.

TABELLA 7.

Capacità unitarie dei trattori a pala di caricamento in funzione della popolazione.

Popolazione servita (abitanti)	Capacità di carico (m ³)	Potenza del trattore H. P.
0 - 10.000	0,6	30
10.000 - 20.000	0,8	45
20.000 - 50.000	1,5	45 - 65
50.000 e più	2,0	65 e più

Se ne deduce che un solo trattore può essere usato convenientemente per la sistemazione dei rifiuti di città con popolazione fino a 50.000 abitanti. Al di sopra di questo valore è necessario avere in funzione più di una unità, anche per assicurare una adeguata riserva.

In alcuni tipi di terreni molto pesanti, e per i servizi di grossi centri abitati è consigliabile ricorrere a macchine dalle prestazioni differenti: escavatori a cucchiaio, a benna e a noria. La capacità della benna in funzione della popolazione servita è indicata nella tab. 8, anche essa redatta dalla « Cater Pillar Co. » ⁽⁹⁾.

TABELLA 8.

Capacità della benna in funzione della popolazione servita.

Popolazione servita (abitanti)	Capacità della benna (m ³)
0 - 100.000	0,4 - 0,6
100.000 - 500.000	1,25
500.000 e più	1,75

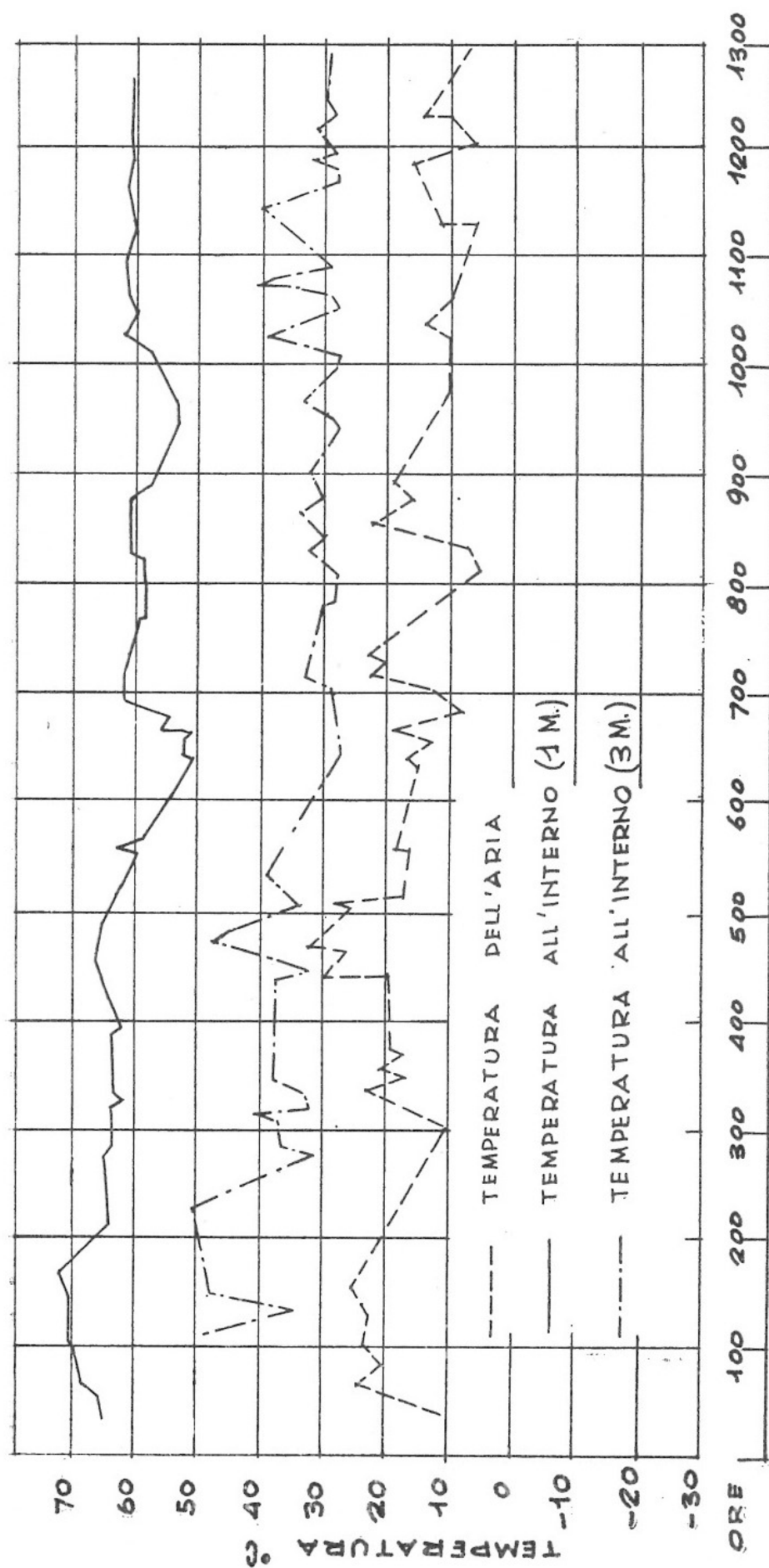


Fig. 24. - Temperature rilevate nella massa di rifiuti in funzione del tempo, nel
« Sanitary Landfill » di New York (1954).

PROCESSI DI DECOMPOSIZIONE DEI RIFIUTI NELLE BONIFICHE PER COLMATA.

La materia organica si decompone in modo lento e progressivo, attraverso processi di fermentazione anerobica. Sotto l'azione dei microrganismi normalmente presenti nel suolo e dei loro enzimi, carboidrati grassi e proteine presenti nelle immondizie si decompongono nei loro costituenti inorganici con produzione di gas. I prodotti finali della decomposizione sono normalmente, gas metano e sali inorganici, specialmente nitrati, fosfati e solfati.

I fenomeni della decomposizione anerobica sono accompagnati da sviluppo di calore: dati in merito sono quelli indicati nella fig. 24, ricavati da una serie di osservazioni condotte nel « Sanitary Landfill » di New York ⁽²⁾.

Il tempo necessario per la completa decomposizione dei rifiuti organici è un fattore scarsamente conosciuto: terreni di bonifica scavati 25 anni dopo il loro impianto, hanno mostrato molti materiali virtualmente non modificati; particolarmente la cellulosa, principale costituente delle bucce e della carta, venne rinvenuta inalterata.

TRATTAMENTO DEI RIFIUTI PER OTTENERE PRODOTTI CONCIMANTI.

L'uso di rifiuti, raccolti dai servizi municipali, come fertilizzanti e correttivi del suolo, costituisce un altro metodo di stabilizzazione; batteri, e altri microrganismi del terreno agiscono sulla materia organica contenuta nelle immondizie per dar luogo ad un humus eccellente come fertilizzante del terreno. In molti paesi europei questo processo è attuato fin dall'antichità, e in molti luoghi la vendita del concime ottenuto dà un certo profitto. Nei paesi in cui è più diffuso l'uso di fertilizzanti inorganici, la minor richiesta di altri tipi di concimi rende meno proficua la produzione di condizionatori di origine organica.

La produzione di concime è un processo biochimico, simile nei suoi principi basilari ai noti processi utilizzati nel trattamento delle acque luride.

La fermentazione aerobica, se avviene in filtri percolatori, con fanghi attivati, o in sistemi contenenti composti ossidanti, è rapida e inodore.

La fermentazione anerobica, così come si verifica negli antichi sistemi di digestione dei fanghi o in taluni procedimenti statici, è lenta e può dare prodotti di cattivo odore, a meno che non si prendano particolari precauzioni.

Nei moderni processi di trattamento delle acque luride, avvengono fermentazioni aerobiche, queste implicano una adeguata aerazione, così

che la ossidazione possa essere completa in tempo relativamente breve, sempre inferiore ad una settimana.

Nel caso specifico del trattamento dei rifiuti dai servizi municipali di nettezza urbana, vi sono alcuni fattori che hanno notevole importanza nei processi di fermentazione aerobica, quali ad esempio, il contenuto di umidità, la temperatura, il grado di acidità, ecc. Si è trovato che un optimum nel contenuto in acqua dei rifiuti sarebbe quello compreso

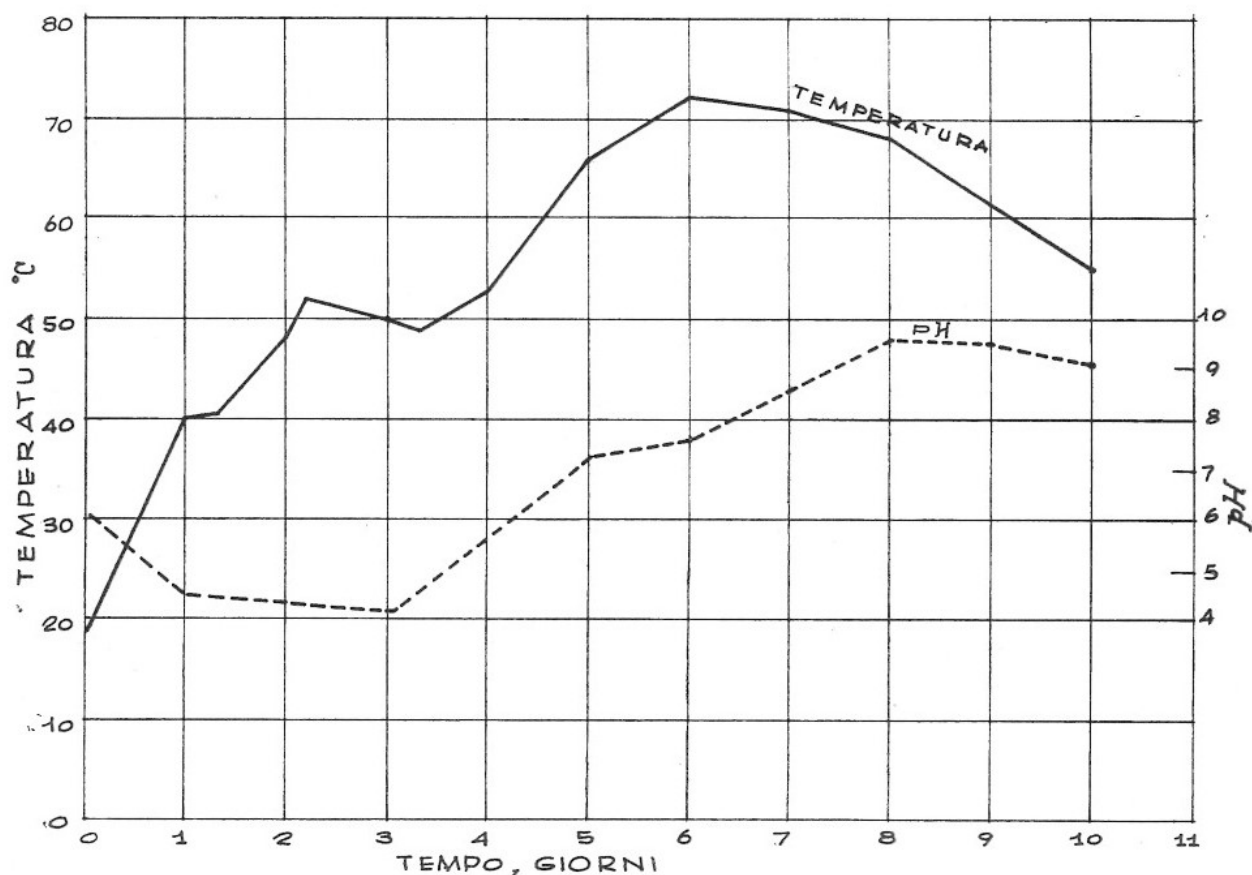


Fig. 25. - Variazioni del pH e della temperatura in un mucchio di rifiuti, durante un periodo di 10 giorni (University of California).

tra il 40 e il 60% con punte estreme del 30 e del 70%, in corrispondenza delle quali si verifica una più bassa efficienza dei processi ⁽⁵⁾. Un contenuto insufficiente di acqua può essere facilmente corretto mediante innaffiamento dei rifiuti prima, e durante i processi di fermentazione. Un eccesso di umidità può derivare da una percentuale troppo alta di rifiuti vegetali; per ovviare ad un troppo elevato tenore di acqua, il sistema più semplice, se l'atmosfera non è troppo umida, è quello di rimiscolare frequentemente i mucchi esposti all'aria in modo da determinare una attiva evaporazione.

Pure avendo importanza, nei fenomeni ossidativi della fermentazione, la concentrazione degli ioni H, non è necessaria una correzione dell'acidità dei rifiuti, in quanto si riscontra normalmente presente nel terreno una serie di organismi capaci di consumare la materia organica contenuta nei rifiuti, accompagnando questo processo con una variazione continua del pH relativo.

La variazione del pH e della temperatura in un mucchio di rifiuti esposti all'aria durante un periodo di 10 gg., è stato posto sotto forma di diagramma nella illustrazione della fig. 25⁽¹⁰⁾.

La temperatura è un altro fattore di importanza fondamentale il quale risulta influenzato dalla attività dei batteri e degli altri organismi che prendono parte alla azione fermentativa. Elementi relativi alla temperatura nell'interno di una massa di residui sono dati nel successivo paragrafo.

Le temperature indicate nella fig. 25 furono riscontrate durante le operazioni di rimescolamento dei rifiuti, operazioni spesso necessarie al fine di rendere basso il gradiente di temperatura nella massa stessa. A riguardo della temperatura atmosferica in genere non è necessaria alcuna particolare precauzione, anche se i rifiuti sono messi a fermentare in mucchi all'aperto; solo per climi particolarmente freddi si fa uso di digestori chiusi, adeguatamente aerati.

Il rapporto carbonio-azoto nei rifiuti, ha grande importanza nello sviluppo e nella sopravvivenza dei microrganismi interessanti alla fermentazione della materia organica.

Esperimenti compiuti dal Waksman⁽¹¹⁾ hanno mostrato che gli organismi del suolo trovano l'optimum vitale quando l'ambiente in cui vegetano contiene approssimativamente 1 parte di azoto per 30 parti di carbonio. La maggior parte delle sostanze contenute nei rifiuti sono costituite da un'alta percentuale di carbonio, accompagnato da ossigeno e idrogeno. La situazione ideale per ottenere sostanze fertilizzanti dai rifiuti, sarebbe quella per cui il rapporto tra C ed N, fosse eguale a 30. L'aggiunta di fanghi derivanti da fognature, di letame, e di sostanze chimiche, può essere utile in quei casi in cui il contenuto di azoto nei rifiuti greggi è inferiore ai valori suesposti.

Ai fini di una fermentazione completa e rapida di tutta la sostanza organica contenuta nei rifiuti, è importante che questi abbiano una opportuna pezzatura, e ciò anche allo scopo di favorire la aerazione anche all'interno della massa.

Per ottenere la dovuta suddivisione delle parti sono usati, nei grandi impianti, speciali macchine per la macinazione del materiale.

FERMENTAZIONE IN MUCCHI ALL'APERTO.

La maniera più semplice di ottenere la fermentazione di rifiuti è quella di disporli in mucchi, o in filari come illustrato nella fig. 26.

Da un punto di vista dell'economia dello spazio e dell'esercizio, è più conveniente disporre i rifiuti in filari anzichè in mucchi. I filari possono essere larghi da 2,5 a 3 metri, ed alti uno o due metri. E' bene non oltrepassare i limiti di altezza indicati in quanto ne deriverebbe una eccessiva pressione che comprimendo il materiale situato alla base im-

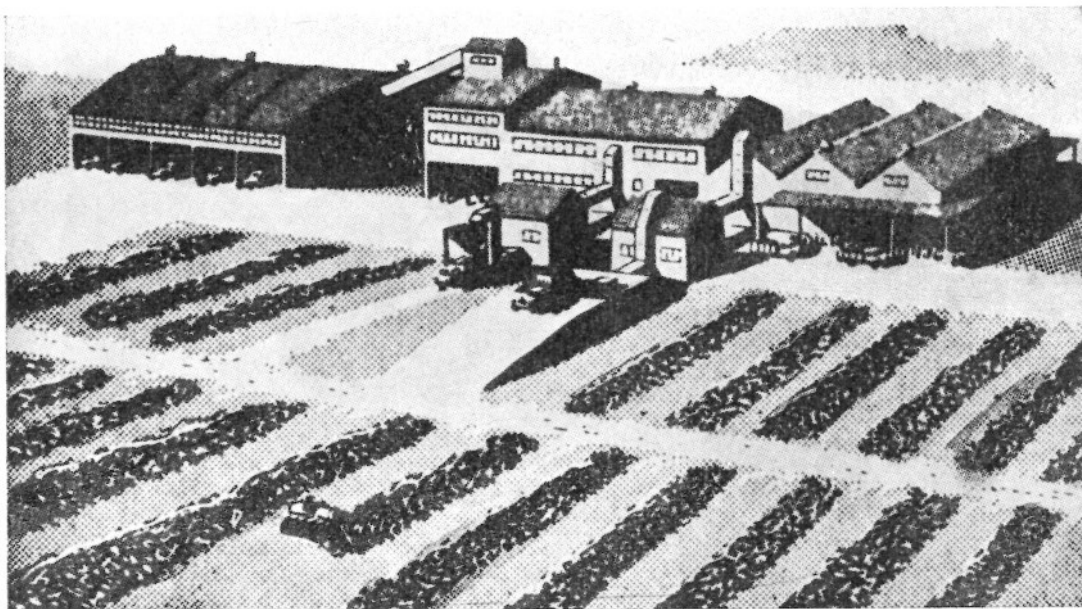


Fig. 26. - Impianto per la fermentazione dei rifiuti con il sistema dei filari.

pedirebbe una sufficiente aerazione della massa e sarebbe causa di una troppo elevata temperatura all'interno dei mucchi, durante i processi ossidativi della materia organica.

D'altra parte, se l'altezza dei rifiuti è inferiore a circa un metro, il calore disperso diventa eccessivo, e la temperatura nella massa scende sotto i 60°C, ciò che è insufficiente per la vita degli organismi termofiliaci interessati alla fermentazione.

Una efficace aerazione del materiale accumulato si ottiene attraverso frequenti mescolamenti; questi possono essere attuati in modo più spedito ed igienico facendo uso di apposite macchine. Si raggiunge in tal modo anche la distruzione delle larve di mosche ed altri insetti dannosi, che prosperano nei rifiuti.

La frequenza delle operazioni di rimescolamento si determina in

base ad elementi diversi, tra i quali il più importante è quello del mantenimento di condizioni aerobiche all'interno del mucchio; comunque in base a studi condotti nei laboratori di igiene della Università di Berkeley ⁽⁵⁾, si è dimostrato che può essere sufficiente attenersi allo schema qui appresso indicato.

a) se il contenuto iniziale di umidità è maggiore del 70% si devono compiere giornalmente operazioni di mescolamento finchè il tenore della umidità sia sceso al di sotto del 70%. Successivamente è opportuno attenersi alle indicazioni esposte nella tabella 9;

b) se il contenuto iniziale di umidità è minore del 70% è necessario attendere due o tre gg. prima di compiere un primo rimescolamento del mucchio. Successivamente si possono seguire le indicazioni contenute nella tabella 9 per la durata di undici o dodici gg.

TABELLA 9.

Schema raccomandato per le operazioni di rimescolamento in relazione al contenuto iniziale di umidità.

Contenuto di umidità	Intervallo per operazioni di mescolamento	Numero totale di mescolamenti richiesti	Altri trattamenti
meno del 40%	-----	-----	aggiungere acqua, seguire poi schema successivo
40 ÷ 60%	3 gg.	3 - 4	-----
60 ÷ 70%	2 gg.	4 5	-----

Ad ogni modo può essere sufficiente, almeno nei piccoli impianti, limitarsi a semplici valutazioni soggettive per stabilire l'inizio e la frequenza delle operazioni di rimescolamento, basandosi sul principio della necessità di compiere tali operazioni finchè perdura il caratteristico cattivo odore, sintomo evidente di fermentazione anerobica.

Un miglioramento del rendimento nella decomposizione dei rifiuti in mucchi all'aperto potrebbe essere attuato attraverso una cernita di essi, compiuta prima della fermentazione, e ciò potrebbe essere più convenientemente fatto dagli stessi utenti, qualora la popolazione fosse educata a disporre in contenitori separati i costituenti eterogenei dei rifiuti. Altrimenti si dovrebbe provvedere a una separazione manuale, nello impianto, di tutto il materiale ad eccezione dello scatolame metallico che può essere asportato per mezzo di separatori magnetici.

La « Compost Corporation of America » stima che in un impianto su larga scala molti di questi materiali estranei potrebbero essere recuperati con profitto economico; ciò non accadrebbe invece nei piccoli impianti. La successione delle operazioni illustrata nella fig. 27 è quella raccomandata dallo Stovroff ⁽¹²⁾.



Fig. 27. - Operazioni di trattamento dei rifiuti greggi secondo Stovroff.

La riduzione dei materiali di rifiuto in pezzature determinate è essenziale per una loro rapida decomposizione. I grossi residui, siano essi organici o inorganici, debbono essere frantumati in pezzi delle dimensioni di 2-3 cm. Una attrezzatura specifica per questo tipo di lavoro non è richiesta: possono essere proficuamente utilizzati frantumatori a percussione o a molazza, sono invece da escludersi gli apparecchi di macinazione ad umido, del tipo di quelli usati negli impianti domestici, perchè non è desiderabile, ai fini di una rapida e completa fermentazione del materiale, che questo abbia un contenuto troppo alto di acqua.

INDICAZIONI SULLA DURATA DELLA FERMENTAZIONE

L'andamento della temperatura è l'elemento più indicativo delle fasi di sviluppo e di successivo esaurimento della decomposizione della materia organica: la fig. 25 mostra chiaramente le variazioni di temperatura in una massa di rifiuti in fermentazione. Attraverso frequenti letture della temperatura nell'interno dei mucchi, si potrebbe stabilire

quando siano necessari rimescolamenti, si potrebbe constatare se la fermentazione avviene in condizioni aerobiche e si potrebbe stabilire quando sia giunta al termine la decomposizione della massa. In pratica è impossibile procedere a rilievi del genere in maniera sistematica e, come già accennato, semplici valutazioni soggettive dell'addetto all'impianto possono dare indicazioni sufficienti; così il cattivo odore di putrefazione che si sprigionasse dai mucchi indicherebbe condizioni di fermentazione anerobiche; una colorazione verde pallido in una sezione della massa sarebbe indice di questo stesso inconveniente. Perchè la decomposizione avvenga in modo completo e rispondente alle esigenze richieste da un buon concimante, il prodotto finale deve essere praticamente inodore e di una colorazione bruno scura.

FERMENTAZIONE IN SERBATOI CHIUSI

Il metodo Beccari a celle zimotermiche rappresenta il primo tentativo di utilizzazione razionale delle sostanze organiche contenute nella spazzatura. Un impianto di tale tipo fu costruito a Firenze (3) molti anni

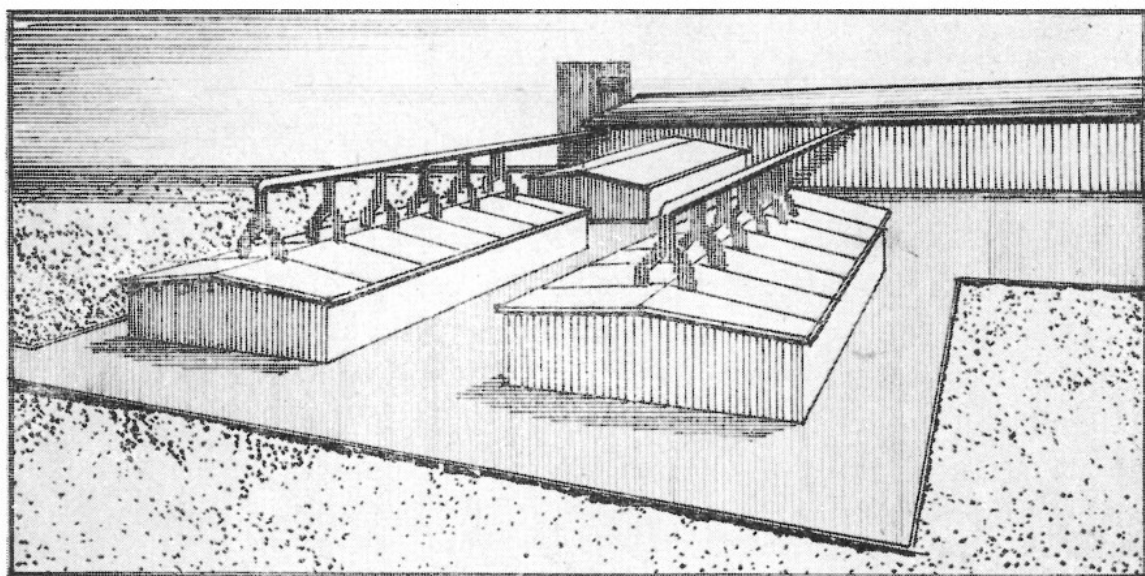


Fig. 28. - Impianto di celle Beccari per la città di Firenze.

fa e altri seguirono in Italia e all'estero, particolarmente in Grecia, in Francia, e negli Stati Uniti (impianto di Scarsdale - New York).

Tale metodo in sintesi è realizzato introducendo un certo numero di cellule aventi le seguenti caratteristiche: capacità di carico $\sim 20 \text{ m}^3$, dimensioni: $\text{m } 4 \times 4 \times 1,25$ (fig. 28).

Un'apertura superiore consente il carico ed il rimescolamento delle spazzature mentre un'apertura frontale serve per il prelievo del materiale all'atto dello scarico.

La spazzatura appoggia sopra una piastra perforata, in modo da lasciare libero accesso all'aria. Questa penetrando nella massa partecipa ai fenomeni ossidativi dei rifiuti e successivamente con i gas di fermentazione, viene condotta in un tino di neutralizzazione ad acido solforico, donde sfugge completamente inodora.

La massa, per effetto della fermentazione si riscalda rapidamente e la temperatura all'interno, raggiunge in tre o quattro giorni i $70^{\circ} \div 80^{\circ}$, sufficienti per distruggere non solo gran parte dei batteri patogeni, ma anche tutte le uova di parassiti ed i saprofiti. La durata delle operazioni di trattamento è di $20 \div 30$ gg., ma per una completa trasformazione occorrono 40 gg., al termine dei quali viene scaricato un materiale avente ottime qualità di fertilizzante, perfettamente innocuo, inodoro, asciutto e di facile manipolazione. Il tempo occorrente per la trasformazione completa dipende strettamente dalle caratteristiche costruttive delle celle e dalla loro conduzione.

Per effetto della fermentazione i rifiuti subiscono una riduzione in volume di circa il 20%. Il concime ottenuto con il metodo Beccari contiene fino al 0,41% di azoto organico ed ammoniacale.

Il metodo Boggiano-Pico, a torre di fermentazione richiede un impianto costituito essenzialmente da una torre cilindrica del diametro di 5,50 m. ed alta 10 m., costruita in muratura e ricoperta in sommità da una soletta in cemento armato forata, onde permettere il caricamento dall'alto del materiale ⁽¹³⁾.

La maturazione del materiale avviene in un periodo di tempo di circa 30 gg.: a trattamento avvenuto si ha una riduzione in volume pari al 40%. Anche con tale processo si ottiene un concimante asciutto ed inodoro avente buone caratteristiche ingrassanti. Nella conduzione si riscontra in pratica qualche difficoltà nella estrazione del materiale di risulta.

Dallo Snell ⁽²⁾ e da altri tecnici inglesi sono stati raccomandati digestori per la fermentazione dei rifiuti. La « Frazer - Ewenson Company » di New Port, costruisce un digestore della capacità di 15 tonn. al giorno, illustrato nelle figg. 29-30; in esso i rifiuti greggi aventi un appropriato bilancio di costituenti chimici e di umidità possono essere trattati in circa una settimana.

In quest'ultimo impianto, un elemento ritardatore del procedimento è dovuto al fatto che su 15 tonn. di prodotto stabilizzato almeno una

deve essere prelevata per rimetterla in ciclo come attivatore del processo fermentativo.

Dalla fig. 29 si può notare che il digestore è diviso in 5 compartimenti separati. Di questi, i 4 superiori sono adibiti a camere di fermentazione, mentre in quello inferiore è situata una tramoggia di scarico.

Tutti questi comparti richiedono differenti gradi di aerazione, e hanno differenti regimi di temperatura. L'aria è prelevata dall'esterno e introdotta alla base del digestore per mezzo di pompe, con sufficiente pressione per poter attraversare l'intero spessore della massa conte-

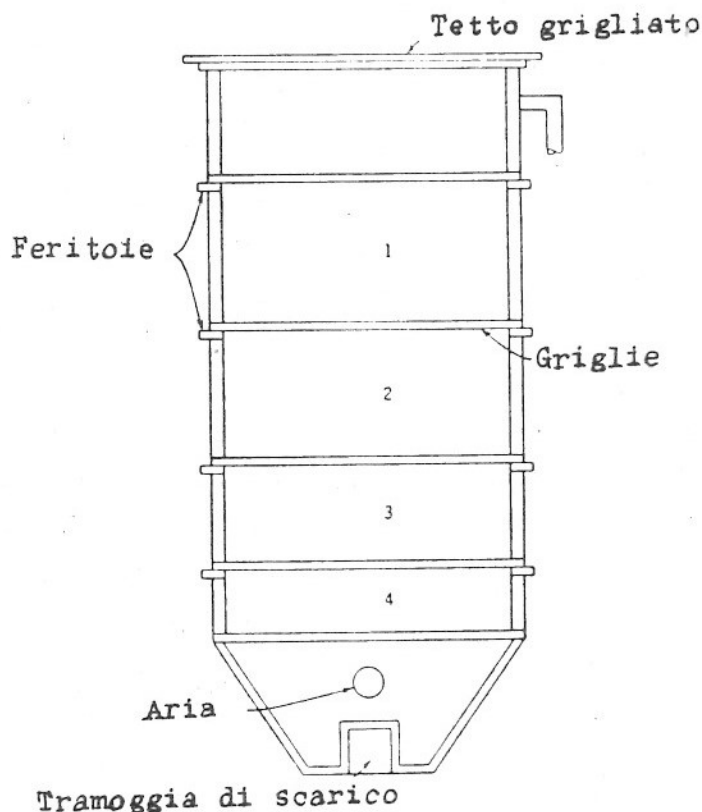


Fig. 29. - Sezione trasversale del digestore Frazer Ewenson.

nuta nel serbatoio, dell'altezza di circa 9 m. La richiesta di aria nelle zone superiori si va riducendo perchè i rifiuti freschi ne contengono, nella loro massa, già una certa quantità. Per questo motivo sono previste aperture di uscita dell'eccesso d'aria nelle zone superiori.

I rifiuti sono introdotti in alto dopo aver subito una cernita preliminare e una macinazione del tipo di quelle precedentemente descritte, quindi passano nelle zone sottostanti, con una permanenza di un giorno in ciascuna di esse, infine, sono introdotte nell'ultimo settore a cui fa seguito una tramoggia di scarico.

La temperatura nel passaggio della massa dei rifiuti attraverso i vari settori del digestore, va via via aumentando fino a raggiungere circa

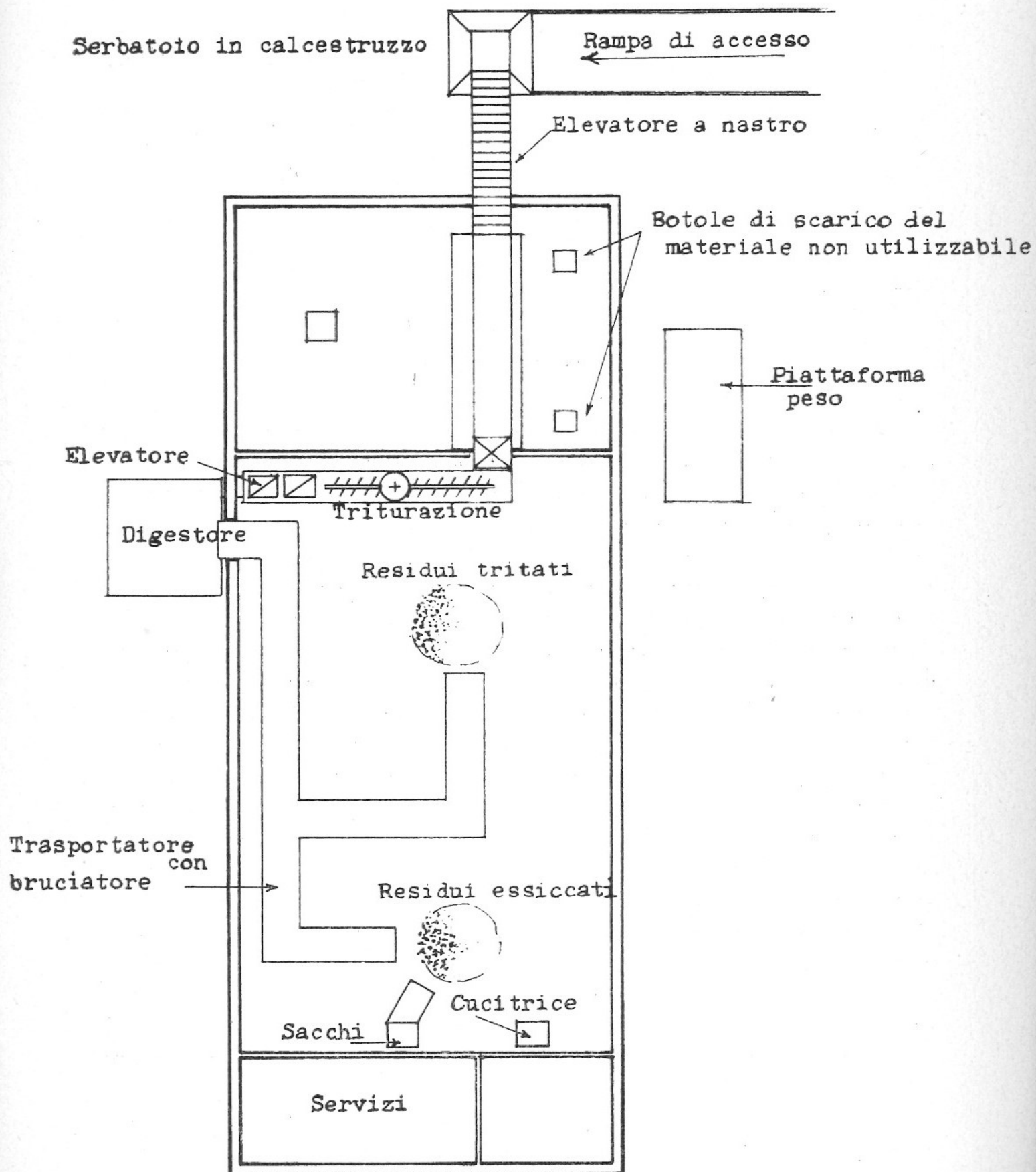


Fig. 30. - Pianta generale di un impianto con digestore.

75°C nella 4^a zona. Nella 5^a zona la fermentazione microbiologica va esaurendosi e la temperatura media è molto più bassa. Dalla tramoggia di scarico, posta alla base del digestore, può prelevarsi il prodotto finito: è raccomandata tuttavia una ulteriore aerazione finale, prima che questo sia essiccato, vagliato e finalmente passato all'insaccamento.

Il quantitativo di materiale trattenuto dalle maglie della griglia, durante le operazioni di vagliatura, circa il 10%, viene utilizzato rimettendolo in ciclo nell'impianto come attivatore.

Non sono necessarie, in tali impianti, aggiunte di sostanze chimiche correttive a meno che il contenuto di composti azotati sia eccezionalmente basso.

INCENERIMENTO

Per oltre 50 anni l'incenerimento ha avuto un importante ruolo nei procedimenti di trattamento dei rifiuti dei servizi municipali.

In molte città, per motivi pratici ed igienici la scelta del sistema di trattamento, è limitata tra il procedimento di incenerimento e quello di bonifica per colmata.

Gli oppositori all'incenerimento delle immondizie affermano che il costo di impianto e di esercizio di questo sistema è molto più elevato di quello richiesto dai sistemi di bonifica per colmata, ma resta il fatto che fino ad oggi questi due sistemi sono stati in competizione. Molte città sono state costrette a ricorrere all'incenerimento per la ragione principale che il terreno richiesto dalle bonifiche per colmata, non era più disponibile a distanze di trasporto contenute entro limiti economici.

L'incenerimento produce un residuo inerte che comporta una diminuzione dell'85% in peso e del 90% in volume del prodotto di partenza. Ciò rende possibile sfruttare per un periodo più lungo il terreno disponibile per il collocamento dei rifiuti.

Tutti gli impianti di incenerimento sono basati sul sistema della preliminare eliminazione della umidità e delle sostanze volatili mediante un preventivo riscaldamento del materiale greggio e della successiva combustione di tutti i costituenti solidi e gassosi.

Il ciclo avviene entro forni in muratura schematicamente costruiti come indicato nella fig. 31.

Dopo il caricamento del forno che avviene alla rinfusa direttamente dagli automezzi provenienti dai centri di raccolta, il materiale viene essiccato nella camera che precede la fornace, dagli stessi gas caldi provenienti dalla massa in combustione. I rifiuti secchi passano poi nella fornace, nella quale si raggiunge la temperatura di ignizione e, succes-

sivamente, nella camera di espansione, entro cui si completa la combustione del materiale di partenza. Infine le ceneri vengono scaricate in modo continuo nel sottostante cinerario.

Il bilancio termico della operazione di incenerimento può risultare, a seconda del materiale di partenza, attivo o passivo: generalmente, per le immondizie provenienti da città situate in zone temperate, si rende necessaria una sensibile aggiunta di combustibile solido o liquido.

Nella tab. 10 sono indicati i poteri calorifici dei veri costituenti dei rifiuti. Si è trovato che le sostanze combustibili contenute nei rifiuti han-

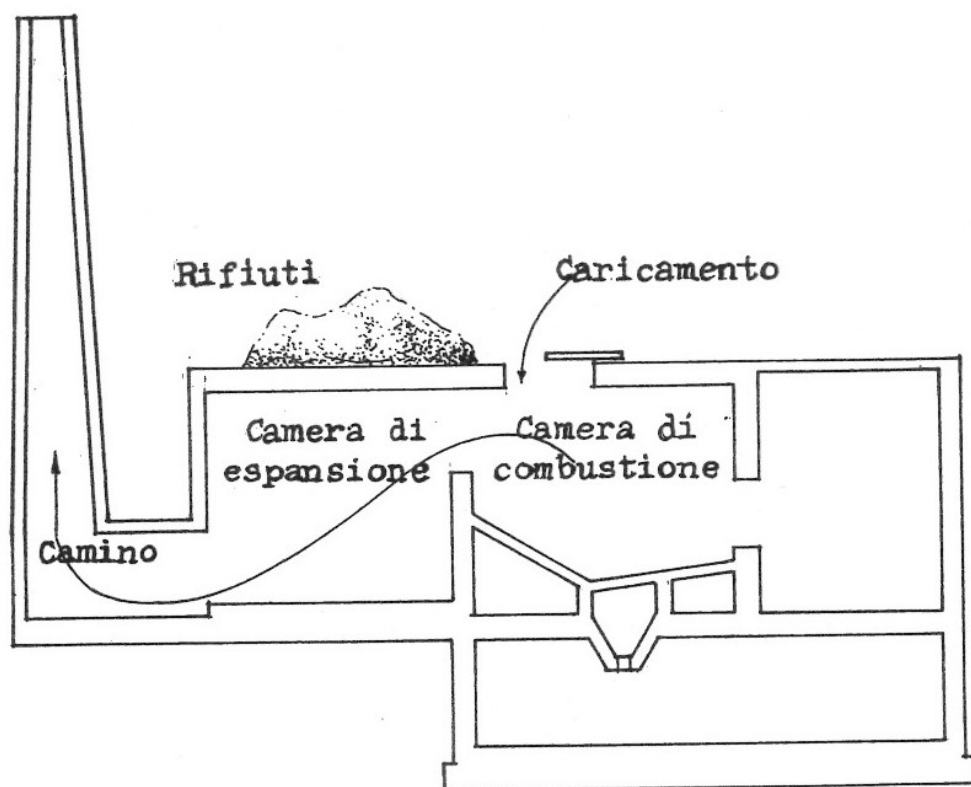


Fig. 31. - Disegno schematico di forno inceneritore.

no un potere calorifico oscillante tra le 2000 e le 1200 calorie per Kg. di materia organica secca, e priva di sostanze inerti. Valori medi del potere calorifico per sostanze che comunemente entrano a far parte dei rifiuti sono quelli indicati nella tab. 10 (University of California) (4).

TABELLA 10.

Valori medi del potere calorifico dei costituenti dei rifiuti secchi.

Materiale	Cal./Kg.
Foglie, erba	3000
Carte, cellulosa	4300
Lignina, cuoio	5500
Carbone, gomma	6000
Scatole da imballaggi	6000

Il valore del potere calorifico dei rifiuti si riduce molto con l'aumentare dell'umidità.

La fig. 32 mostra la relazione esistente tra potere calorifico, umidità e sostanze inerti (⁴).

Per esempio si supponga che una prova calorimetrica sulla carta dei rifiuti abbia dato un indice di 4000 calorie per Kg. di materia secca e priva di inerti e si supponga che in effetti nella carta sia presente un

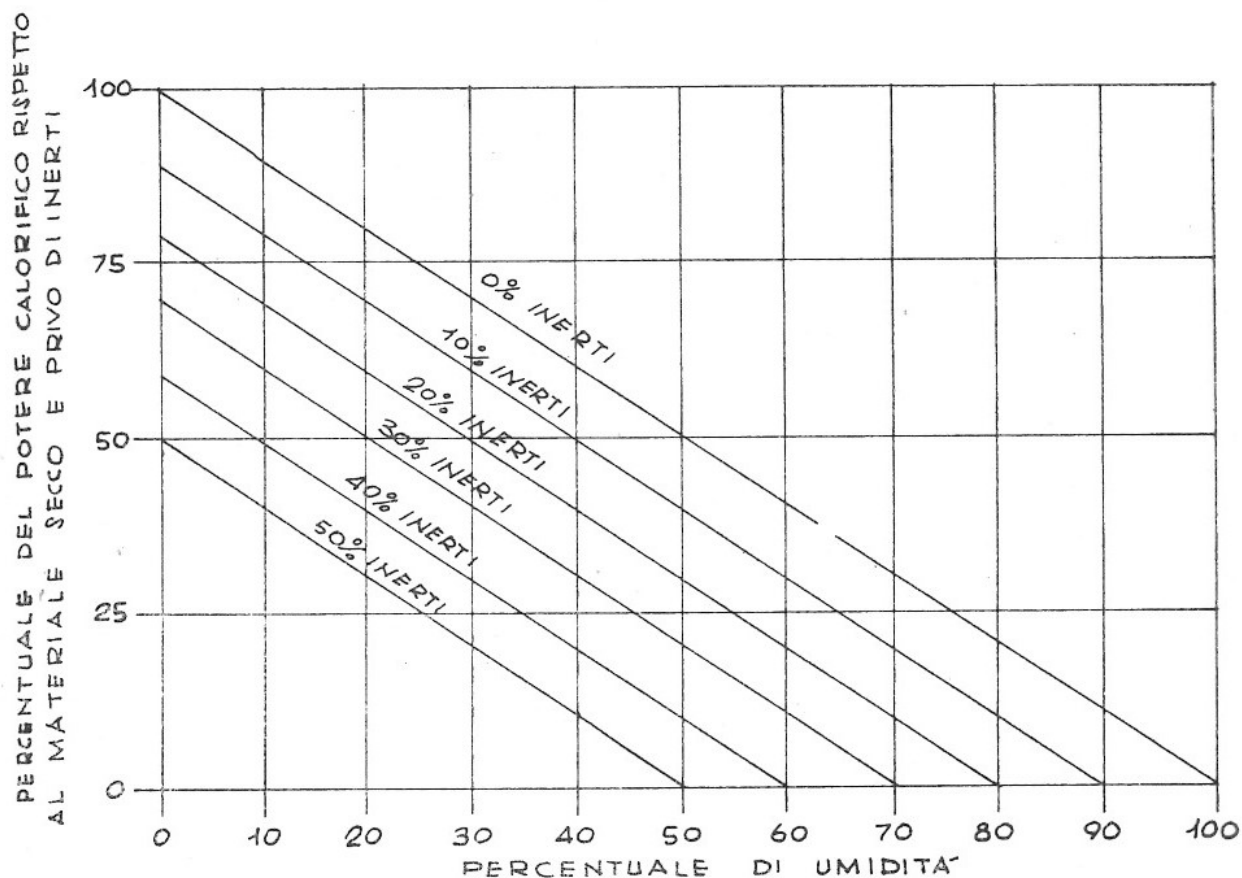


Fig. 32. - Diagramma per la determinazione del potere calorifico in funzione della umidità e delle sostanze inerti.

10% di polvere inerte e un 40% di umidità; per trovare il valore attuale del potere calorifico basta fare la intersezione della retta rappresentativa del 10% di inerte con quella del 40% di umidità e leggere la percentuale di calore, che in questo caso è del 50%; cioè 2000 calorie per Kg. di rifiuti effettivi.

L'uso del diagramma è assai interessante perchè permette di determinare il massimo contenuto di umidità e di inerti per il quale si raggiunge ancora la temperatura di ignizione di un determinato rifiuto, senza aggiunta di combustibili.

I forni sono generalmente condotti a un regime di temperatura vicino a 800° C, generalmente sufficiente a bruciare tutte le sostanze organiche senza distillazione o produzione di fumo; il calore necessario per raggiungere questa temperatura dipende dalla umidità e dal calore specifico dei costituenti dei rifiuti, che si aggira sulle 800 calorie per Kg.: le sostanze organiche presenti nei rifiuti dovrebbero essere capaci di fornire questo quantitativo di calore, per assicurare la combustione senza bisogno di combustibili addizionali, tuttavia alte percentuali di residui di cucina e di umidità abbassano il potere calorifico del materiale greggio fino ad imporre l'aggiunta sistematica di combustibili additivi.

La soluzione di condurre l'impianto a temperature mediamente inferiori a quelle indicate è da escludere, perchè ne deriverebbe una combustione incompleta dei rifiuti e conseguentemente produzione di fumo e cattivi odori.

L'aria necessaria al processo ossidativo della combustione viene introdotta nel forno, in parte al disotto della grata e in parte al di sopra di essa; l'esperienza ha mostrato che l'aria totale richiesta oscilla tra il 150 e il 200% di quella teorica necessaria ad ossidare tutta la materia organica. Ciò equivale a 5-8 Kg. di aria per Kg. di rifiuti ⁽⁴⁾.

La capacità di un forno d'incenerimento è determinata dalla quantità dei rifiuti che può essere bruciata giornalmente nella ipotesi di un funzionamento continuo.

Per esempio, dovendo dimensionare un impianto per un centro che dia 100 tonn. di rifiuti al giorno, con un orario normale di esercizio di 8 ore occorrono forni per una capacità complessiva di 300 tonn. di rifiuti. Beninteso occorrerà sempre prevedere unità di riserva in aggiunta alla minima potenza richiesta.

Gli elementi principali che devono essere valutati nel progetto di un inceneritore sono tre:

- Volume del focolaio
- Area della griglia
- Tipo di rifornimento.

Il volume del focolaio è dimensionato sulla base di un m^3 ogni 50-200 Kg. di rifiuti misti per ora con un valore più usuale di 130 Kg/ora: ciò equivale a $0,30 m^3$ di volume di focolaio per tonn. ⁽¹³⁾.

Tale volume è richiesto per bruciare i rifiuti con il 50% di umidità; invece si richiedono $0,6 m^3$ per rifiuti aventi il 20% di umidità.

Attualmente, i forni sono dotati di griglie sia orizzontali che inclinate, estese su tutta la superficie del focolaio. Esse sono generalmente proporzionate per portate di $200 \div 700$ Kg. di rifiuti per ora e per metro quadrato.

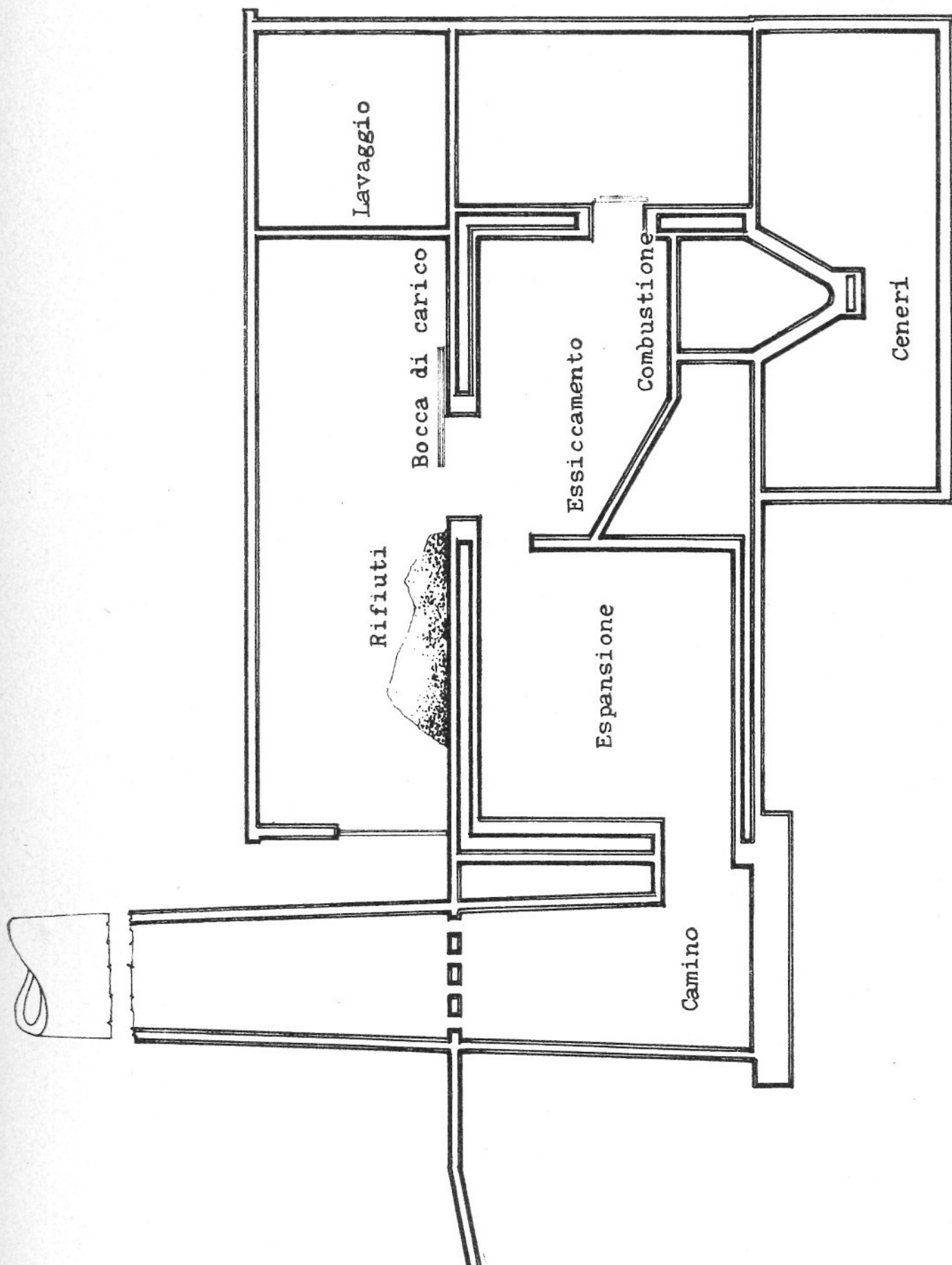


Fig. 33. - Sezione trasversale di un inceneritore con sistema di caricamento manuale.

I forni riforniti a mano devono essere dimensionati in base al valore minimo mentre per quelli con sistema di rifornimento meccanico è consigliabile non superare i 310 Kg./ora $\times$ m². I valori massimi sono raggiungibili solo con forni rotativi a ciclo continuo.

La tab. 11 indica alcuni dati di progetto per un certo numero di impianti di incenerimento funzionanti negli Stati Uniti.

TABELLA 11.

Criteri di dimensionamento per i principali impianti di incenerimento negli U.S.A. ⁽¹⁵⁾

Città	Nome dell'impianto	Capacità Tonn./24h	Tipo di rifornimento	Regime combustione Kg. ora m ²
Baltimora . .	Reed Bird	880	meccanico	340
Detroit . .	City	170	»	600
New York . .	Betts Ave.	800	a griglia	320
Worcester . .	City	450	meccanico	400
New York . .	56th. St. Man.	750	manuale	310

Una sezione trasversale in un impianto tipico con rifornimento manuale è quella illustrata nella fig. 33.

L'area delle grate è divisa in due zone: nel cosiddetto focolare di essiccamento e in quello di combustione.

In effetti, la combustione ha luogo in ambedue le zone. E' consigliabile dimensionare i forni di tale tipo sulla base di 0,24 m³ per tonn. e provvederli di una grata adatta per bruciare 180 Kg./ora $\times$ m².

Esistono molte varianti su questo schema; la più comune è la unità a cellule multiple, nota anche come « mutual assistance » e illustrata nella fig. 34.

Due o più cellule sono accoppiate in modo da avere un focolaio in comune, nel quale i gas caldi prodotti nella combustione innalzano la temperatura nelle camere adiacenti, nelle quali alternativamente viene caricato il materiale greggio.

Alcuni rifornitori meccanici del tipo usato nella metallurgia e negli impianti di produzione del gas, sono stati applicati nei forni per bruciare i rifiuti ⁽¹⁶⁾.

Sin dal 1940 il sistema di rifornimento meccanico più largamente diffuso nei forni circolari è quello rotativo con braccio mescolatore.

I bracci sono generalmente 2 o 3 come indicato nella fig. 35.

I bracci ruotano con una velocità di circa 6 giri per ora e sono sagomati in modo da spingere lentamente i rifiuti verso la periferia del forno. La parte centrale del focolaio contiene un piatto circolare di acciaio

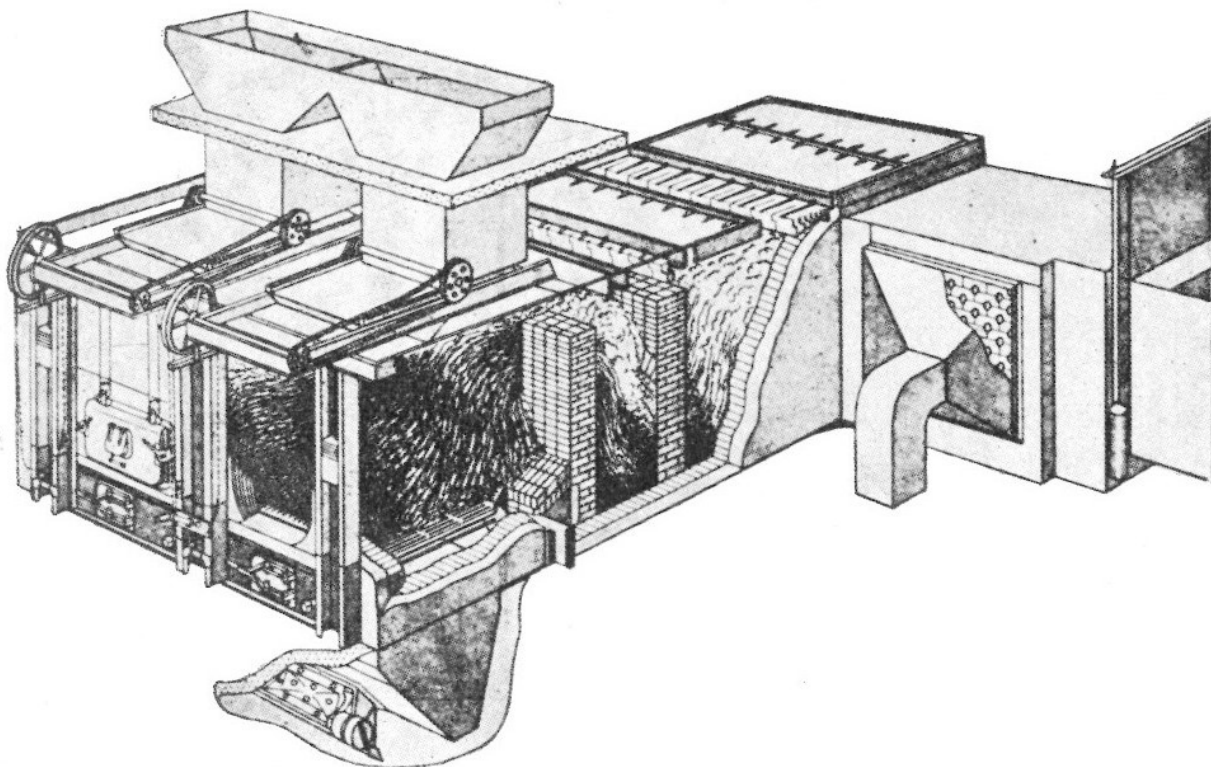


Fig. 34. - Impianto di incenerimento con due cellule « mutual assistance ».

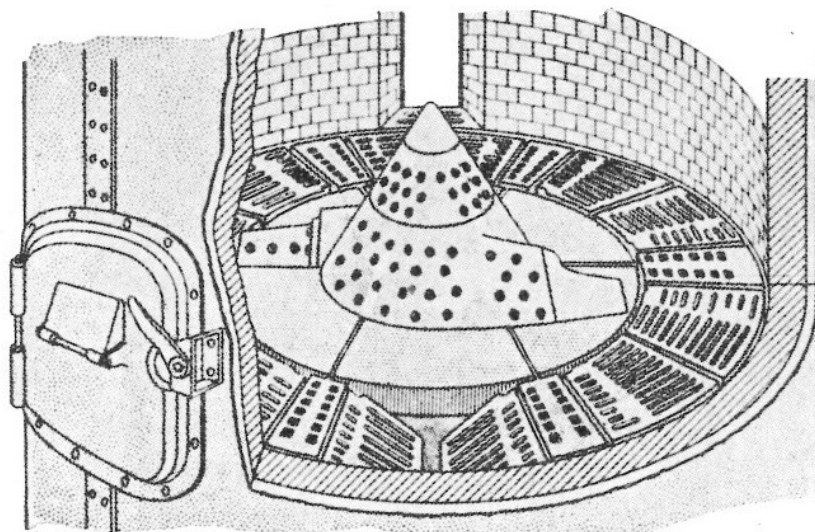


Fig. 35. - Schema di un rifornitore rotativo (Nichols-Engineering and Research Corp.).

che ha la funzione di forno di essiccamento, e costituisce la zona su cui ruotano i bracci.

Questa zona occupa circa la metà della proiezione orizzontale della superficie del forno. Al di là dei bracci attorno a tutta la zona centrale

vi sono grate attraverso cui viene immessa meccanicamente l'aria necessaria alla combustione.

Tutte queste grate sono collegate fra loro in modo da poter effettuare, mediante la loro apertura, lo scarico, e sono allo stesso livello del piano di rifornimento dell'impianto.

Una innovazione in questo tipo di equipaggiamento è l'uso del cono centrale e dei bracci di mescolamento forati per la introduzione di aria nella massa di rifiuti in combustione.

Le due Ditte costruttrici di tale tipo di equipaggiamento affermano che questo artificio serve ad incrementare sensibilmente la capacità di combustione per unità di superficie del forno. La fig. 36 illustra una sezione trasversale attraverso un impianto di questo tipo.

Alcuni impianti, in particolare a New York, hanno fatto uso di un sistema di caricamento a griglia mobile. Una sezione trasversale dell'impianto di Betts Ave, del Dipartimento Sanitario della città di New York, è illustrato nella fig. 37.

I vantaggi attribuiti a questo tipo di unità sono: uniforme approvvigionamento dei rifiuti, con più omogenee condizioni di temperatura nel focolaio e nella camera di combustione, minor lavoro manuale per il rifornimento e migliori condizioni di combustione. Un fatto che deve essere tenuto presente, in questo tipo di impianto, è la tendenza che hanno i rifiuti, a rimanere sopra un determinato elemento della griglia mobile mantenendo sempre la medesima posizione. Ciò può causare una incompleta combustione di alcuni residui vegetali che si trovano a contatto delle griglie, in quanto l'aria fredda proveniente da sotto le grate, impedisce il riscaldamento di questi rifiuti fino al punto di ignizione.

Perciò è conveniente avere due griglie mobili disposte l'una successivamente all'altra a differenti livelli, come illustrato dalla fig. 37.

Questo ultimo tipo sembra essere il più rispondente alle esigenze richieste, e un impiego di esso dovrebbe essere considerato con interesse dagli Ingegneri sanitari e dai progettisti di impianti.

Nella tab. 12 sono indicati alcuni dati di funzionamento degli im-

TABELLA 12.

Dati principali dell'inceneritore di Betts Ave a New York City.

Popolazione servita	500.000 abitanti
Peso dei rifiuti	1,20 Kg./abitante per giorno
Numero forni	4 ciascuno da 200 tonn./24h
Area griglia essiccamento	6,4 m ² per tonn.
Area griglia combustione	17,6 m ² per tonn.
Regime di combustione	350 Kg. per ora e m ² superficie totale griglia
Temperatura di funzionamento	1100-1400 C°
Camera di combustione	0,75 m ³ per tonn. di capacità

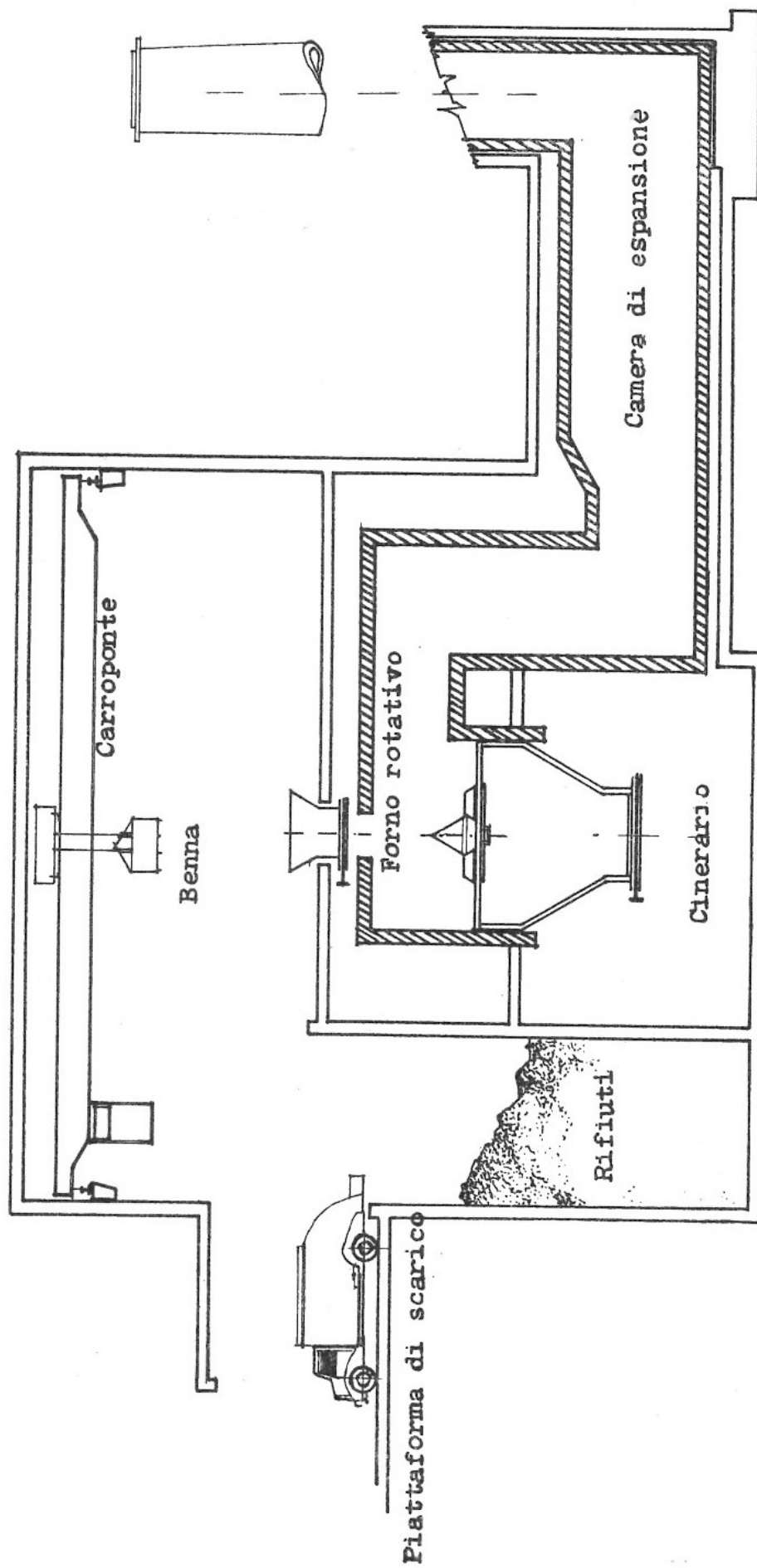


Fig. 36. - Sezione schematica di un inceneritore Worcester (Anderson-Nichols and Co. - Boston).

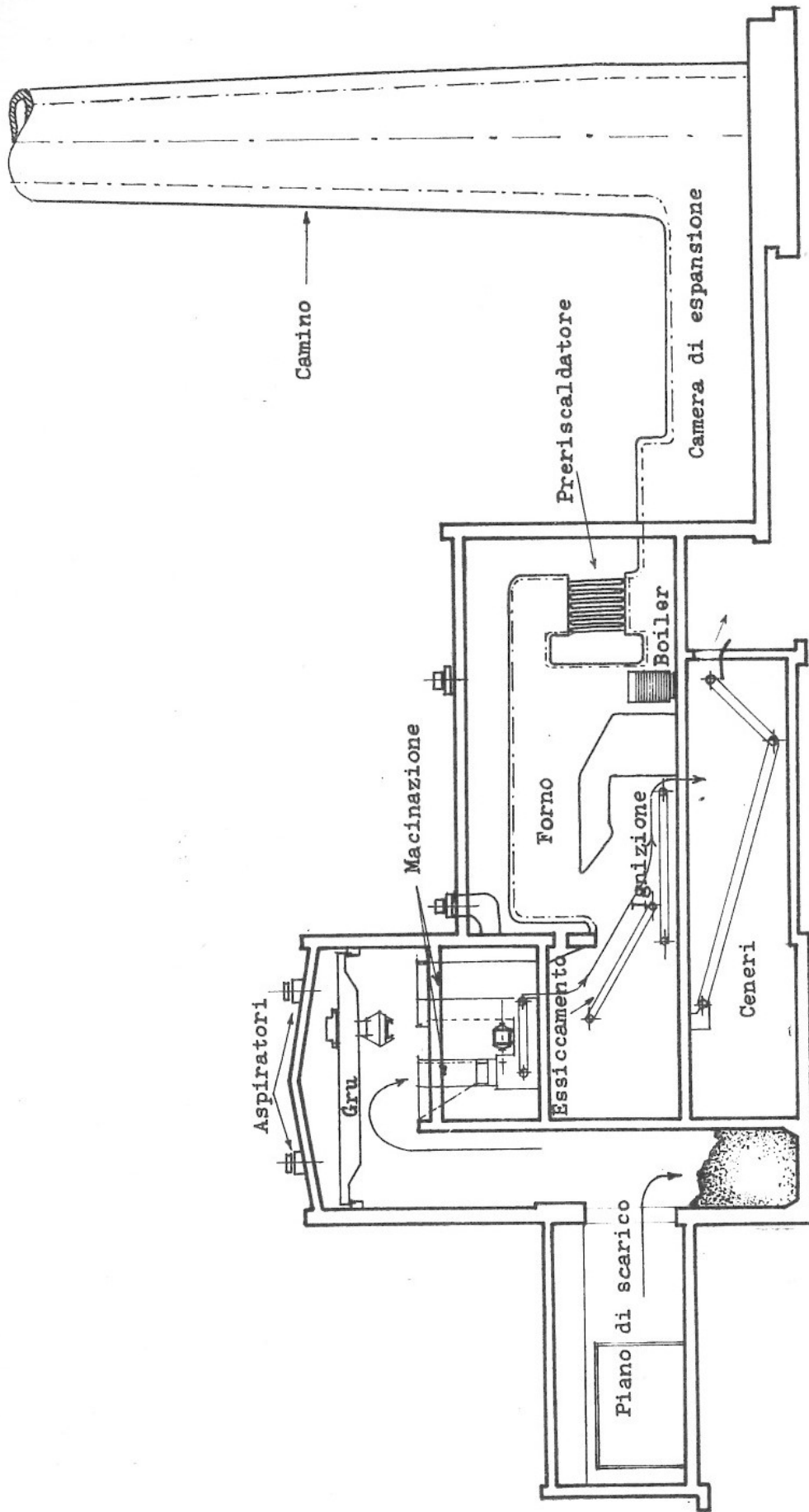


Fig. 37. - Sezione trasversale dell'impianto di incenerimento a griglia mobile di Betts Ave (New York City).

pianti di Betts Ave (in fig. 37) progettato per una capacità massima di 800 tonn./giorno, con funzionamento ininterrotto ⁽¹⁵⁾.

Un terzo tipo di rifornitore meccanico che ha riscosso un certo favore è quello a griglie multiple oscillanti, la fig. 38 mostra l'interno del forno inceneritore di Reed Bird a Baltimora Md. ⁽¹⁷⁾.

Gruppi alternati di grate oscillanti sono fatte ribaltare simultaneamente per mezzo di comandi idraulici. Dopo che una serie di grate si è

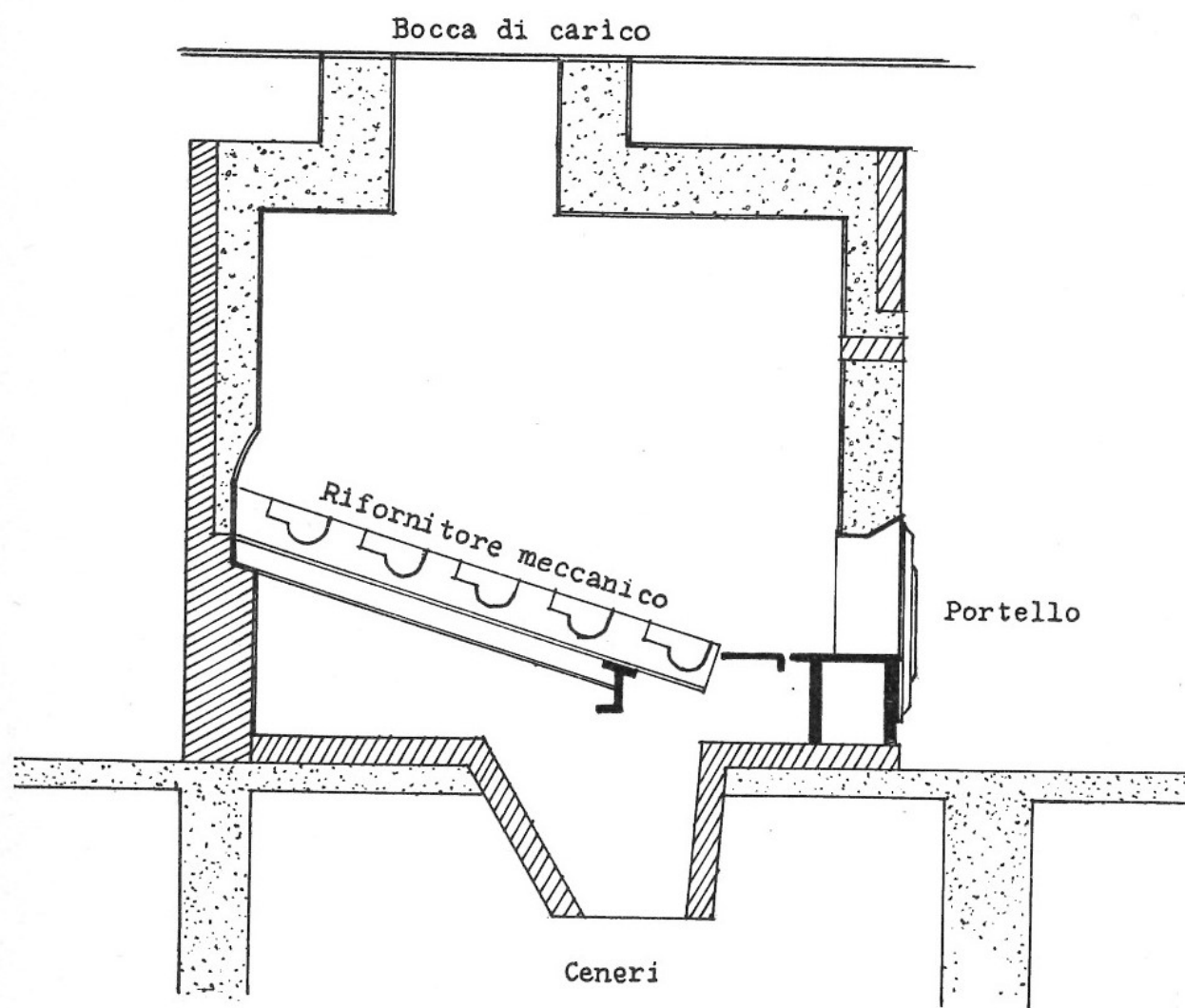


Fig. 38. - Disegno schematico del sistema di rifornimento a griglie oscillanti.

ribaltata, l'altro gruppo entra in funzione, ciò permette il mescolamento dei rifiuti e al tempo stesso, assicura il trasporto del materiale da bruciare da una estremità all'altra del focolaio.

La fig. 39 illustra una sezione trasversale di un impianto di questo tipo.

Questo sistema meccanico è inoltre particolarmente adatto ad essere installato in vecchi inceneritori muniti di un sistema di caricamento manuale.

Forni rotativi sono stati utilizzati in pochi impianti degli Stati Uniti, particolarmente ad Atlanta ed a Los Angeles. Una sezione trasversale dell'impianto di Atlanta è illustrata nella fig. 40. Esso ha una capacità di 686 tonn. al giorno.

Si può notare, in riferimento a questa illustrazione che i rifiuti sono sollevati dal serbatoio di scarico alle tramogge di alimentazione per mezzo di una gru su corroponte. Successivamente il materiale scende per gravità alle griglie di essiccamento che sono riscaldate per irraggiamento dai gas caldi provenienti dal focolaio situato sotto la camera di essiccamento. I gas contenenti vapor acqueo e sostanze volatili organiche pas-

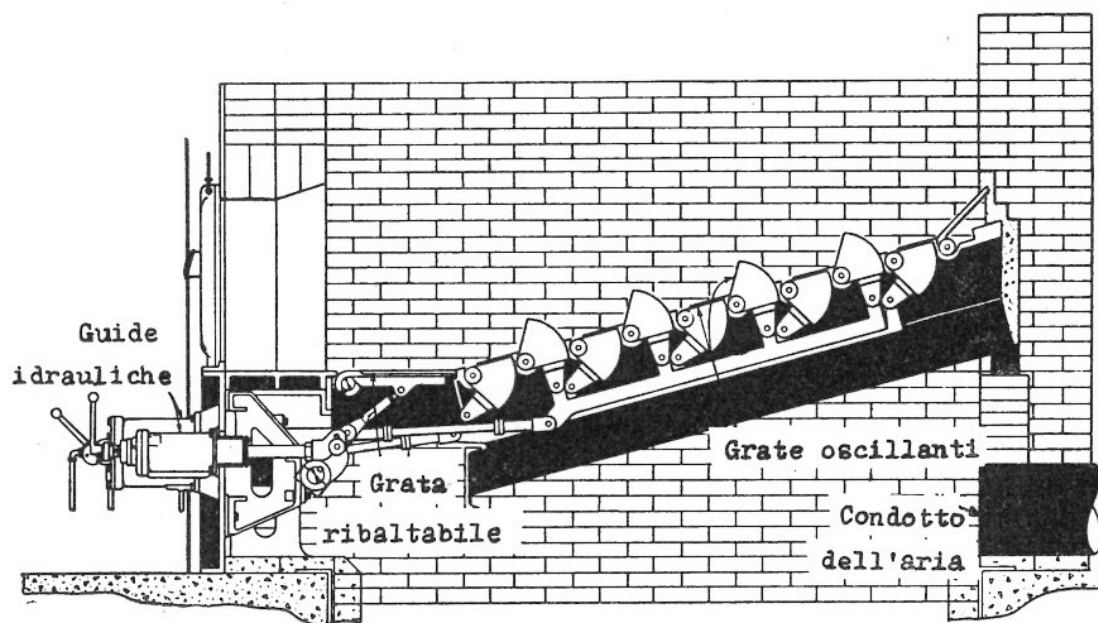


Fig. 39. - Forno munito di griglie oscillanti.

sano attraverso un by-pass e quindi attraversano la camera di combustione per mescolarsi con i gas caldi provenienti dalla griglia di ignizione e dal forno rotativo, al fine di eliminare, con una completa combustione, qualsiasi cattivo odore.

I rifiuti dalle griglie di essiccamento, passano al forno di ignizione per mezzo di grate comandate meccanicamente e mosse da motori a velocità variabile che possono essere regolati in modo da ottenere il regime di combustione più appropriato al materiale trattato. In questo forno di ignizione è introdotta aria preriscaldata al di sotto dello strato dei rifiuti. Il preriscaldamento dell'aria è fatto in una camera che ha i muri adiacenti al forno. Tutte e due le griglie, quella di essiccamento e quella di ignizione sono del tipo oscillante. La combustione finale ha luogo in

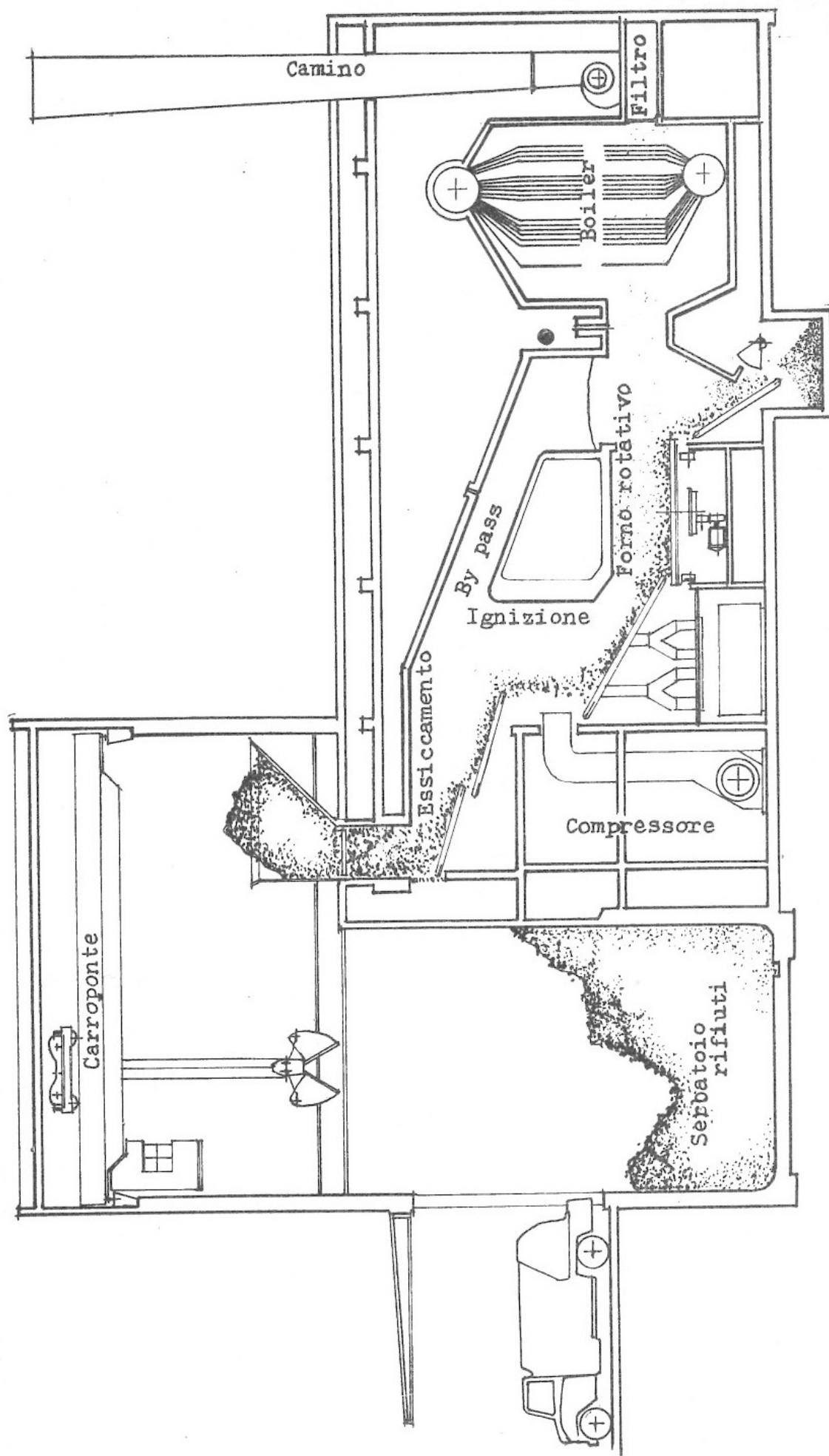


Fig. 40. - Sezione trasversale dell'impianto di incenerimento di Atlanta (International Incinerators, Inc.).

un forno rotativo attraversato dal materiale proveniente dalla griglia di ignizione. Infine, dopo essere passato attraverso il forno rotativo il materiale residuo cade su un trasportatore sottoposto ad un raffreddamento con sistema a pioggia. Questo nastro trasporta le ceneri in un separatore ubicato fuori dell'edificio dell'inceneritore.

Le scatole di lamiera sono trattenute da un magnete, per essere recuperate, mentre il residuo è trasportato sui campi di scarico.

Il recupero del calore sviluppato negli impianti di incenerimento, ancora non è stato praticato su larga scala; si conoscono soltanto dati di funzionamento dell'impianto annesso all'inceneritore della città di Atlanta. In esso si ha una produzione di circa 1,5 - 1,8 kg di vapore acqueo per kg di rifiuti bruciati ⁽¹⁸⁾.

Roma. — Istituto Superiore di Sanità - Laboratorio di Ingegneria.

BIBLIOGRAFIA

- ⁽¹⁾ American Public Works Association « Refuse Collection Practice ». Chicago, 1941.
 - ⁽²⁾ ELIASSEN R.: « American Journal of Public Health ». - New York, vol. 32, 1942.
 - ⁽³⁾ Ente Nazionale per l'Organizzazione del Lavoro. - Bollett. n. 6. - Roma, 1938.
 - ⁽⁴⁾ University of California « Technical Bulletin » n. 5 series 37. Berkeley, 1951.
 - ⁽⁵⁾ University of California « Technical Bulletin » n. 9 series 37. Berkeley, 1953.
 - ⁽⁶⁾ Notiziario S.A.B. - Bergomi. Milano, 1952-'53.
 - ⁽⁷⁾ Organizzazione Servizi Nettezza Urbana - Tudini & Talenti, Roma 1953-'56.
 - ⁽⁸⁾ British Standard Specifications - London, 1947.
 - ⁽⁹⁾ Cater Pillar Tractor Co. « Notes on Sanitary Landfill Method of Garbage and Refuse Disposal », Peoria, 1952.
 - ⁽¹⁰⁾ MCGAUTHEY and GOTAAS: « Stabilization of Municipal Refuse by Composting ». - Proc. ASCE 79 n. 302, 1953.
 - ⁽¹¹⁾ WAKSMANN S.: « Humus ». - Williams & Wilkins - Baltimora, 1938.
 - ⁽¹²⁾ STOVROFF R.: « Capitalizing on Municipal Wastes by Composting ». - ASCE, 1953.
 - ⁽¹³⁾ BERTARELLI E.: « La utilizzazione delle spazzature stradali e domestiche ed il metodo di trattamento di L. Boggiano Pico ». - Relazione - Genova, 1928.
 - ⁽¹⁴⁾ EWENSON E.: « Composting of Garbage and Sludge ». - ASCE 79 n. 312, 1953.
 - ⁽¹⁵⁾ ELIASSEN R.: « Refuse Collection and Disposal ». - J. Wiley & Sons, Inc. New York, 1956.
 - ⁽¹⁶⁾ ELIASSEN R.: « Civil Engineering ». - vol. 17, New York, 1949.
 - ⁽¹⁷⁾ FANNON W.: « American City ». - vol. 68, 1953.
 - ⁽¹⁸⁾ CATES H. Jr.: « Report on the Atlanta Incinerator ». - ASCE, 1952.
-