

Ciclo tecnologico e mappa dei rischi potenziali nella produzione dei diversi tipi di accumulatori al piombo

Bianchi S.*, Bodini L. **, Borroni A.***

Mazza B.***, Nano G.***, Cocheo V.****

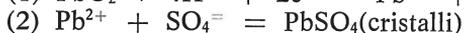
Premessa

L'accumulatore è un particolare tipo di elemento galvanico nel quale, alla fine della scarica, il processo elettrochimico può essere invertito, facendo funzionare l'elemento come cella elettrolitica con corrente imposta: in questa fase, l'energia elettrica viene trasformata in massima parte in energia interna chimica del sistema, il quale viene così riportato allo stato iniziale, riutilizzabile per un nuovo processo di scarica.

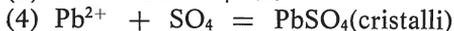
Mentre in linea teorica qualsiasi processo elettrochimico reversibile può essere utilizzato per la costruzione di un accumulatore, in pratica le difficoltà costruttive su larga scala hanno limitato la scelta a pochi processi elettrochimici, fra i quali, quello di ossido-riduzione del piombo è indubbiamente il più diffuso.

L'accumulatore al piombo è costituito da un elemento galvanico, nel quale avvengono le seguenti reazioni nella *fase di scarica*:

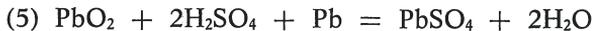
al polo positivo:



al polo negativo:



complessivamente



In entrambi gli elettrodi cioè il piombo tende a passare allo stesso stato di valenza + 2 dagli stati di valenza iniziali + 4 e 0.

Come si vede dalle reazioni di scarica, in entrambe le zone positiva e negativa è presente lo stesso elettrolita, acido solforico diluito: questa caratteristica rende particolarmente semplice la costruzione in larga scala dell'accumulatore al piombo ed è una delle ragioni della sua diffusione.

La forza elettromotrice a circuito aperto dell'elemento descritto varia fra 2,050 e 2,150 Volt in funzione della densità dell'elettrolita.

*S.M.L. di Vimercate (Milano)

**S.M.L. di Sesto S. Giovanni (Milano)

***Istituto di Chimica-Fisica, Elettrochimica e Metallurgia e Gabinetto di Ergotecnica del Politecnico di Milano

****Fondazione Clinica del Lavoro, Laboratorio per lo Studio e la Prevenzione dei Rischi da Lavoro di Padova.

Imponendo dall'esterno una f.e.m. di pari valore ma di segno contrario, la reazione (5) si inverte: dai cristalli di solfato di piombo si riformano piombo metallico e biossido di piombo, accumulando, in questa *fase di carica*, l'energia da rendere nella fase di scarica.

Nella pratica sono richieste tensioni di scarica di 6-12-24 volt, che si realizzano collegando in serie 3-6-12 elementi.

TIPI DI ACCUMULATORI AL PIOMBO (BATTERIE)

Esistono alcuni tipi diversi di accumulatori al piombo, la cui differenziazione nelle caratteristiche costruttive è imposta dal diverso utilizzo cui le batterie sono destinate nell'uso pratico.

In linea di massima, comunque, tutti gli accumulatori al piombo si possono considerare costituiti dall'accoppiamento di più elettrodi positivi e negativi di forma varia (griglie, tubi, lastre ecc.), aventi in comune il piombo come materiale da costruzione, collegati elettroliticamente da acido solforico diluito.

Batterie avviamento

Sono impiegate a bordo dei veicoli a motore a scoppio (auto, autocarri, moto ecc.) per azionare i motorini di avviamento e per assicurare il funzionamento di alcune altre utenze a motore spento.

Per le batterie avviamento prevale l'esigenza di buone prestazioni anche a freddo (scariche brevi, ma intense): necessitano quindi di elettrodi formati da piastre sottili con grande superficie attiva, cioè molto porose.

Per una batteria di avviamento di medie dimensioni si impiegano più di 4 Kg di piombo per le griglie e gli accessori fusi e 6 Kg di polvere, soprattutto sotto forma di ossidi.

I miglioramenti sono volti ad ottenere batterie più leggere e maneggevoli attraverso l'uso di contenitori in materia plastica. Sono anche stati introdotti alcuni accorgimenti che permettono di produrre batterie completamente sigillate, che non hanno bisogno di rabbocchi di acqua distillata; in tal modo si è ridotto lo sviluppo di gas conseguente alla decomposizione dell'acqua durante la fase di carica, utilizzando griglie in lega piombo-calciostagno.

Batterie trazione

Le batterie per trazione sono usate per alimentare i motori elettrici di marcia di molti veicoli industriali operanti in ambienti chiusi.

Queste batterie devono avere alta capacità e resistenza meccanica: si usano quindi piastre di elevato spessore. Si fabbricano anche batterie dove l'elettrodo positivo è costituito da una piastra a tubetti, detta piastra coraz-

zata, nella quale il materiale è contenuto allo stato secco entro recipienti cavi (tubetti o tasche), in materiale non conduttore ma permeabile all'elettrolita. Centralmente è collocata una spina in lega piombo-antimonio che funziona da conduttore elettrico.

Le batterie impiegate a bordo dei sommergibili e dei treni possono essere considerate, per la funzione e per le caratteristiche costruttive, particolari batterie per trazione.

Batterie per uso stazionario

Sono usate per garantire una riserva di energia per ospedali, locali pubblici e per quei servizi che non possono interrompersi, come calcolatori e telefoni.

Per questo scopo si devono usare batterie di grande affidabilità, subordinando a questa caratteristica peso e costo.

La batteria Planté ha la piastra negativa impastata, mentre la positiva è costituita da una lastra di piombo puro. I suoi maggiori pregi sono la bassa autoscarica, dovuta all'assenza di antimonio nella piastra positiva, e la grande durata (da 10 fino a 25-30 anni) dovuta al fatto che il biossido di piombo che si stacca in superficie viene sostituito da altro che si forma, durante la fase di carica, dal piombo sottostante.

Accanto alle classiche batterie Planté si sono affermate batterie con piastre positive corazzate e tubetti, più leggere e compatte, con recipienti di plastica trasparente.

Anche per l'uso stazionario sono state introdotte batterie con griglie in lega piombo-calcio-stagno.

PRODUZIONE INDUSTRIALE

Nel settore di produzione degli accumulatori al piombo si sta attuando una progressiva concentrazione, che consente di specializzare la produzione nei singoli stabilimenti, riducendo i tipi di prodotto e aumentando l'automazione.

In particolare, per la produzione avviamento interi reparti sono stati ristrutturati; le innovazioni introdotte consentono un miglioramento delle condizioni ambientali, diminuendo o escludendo l'intervento degli operatori nel corso della lavorazione e riducendo la movimentazione di polveri allo stato secco o attuandola in sistemi chiusi.

Nella produzione di accumulatori non risultano impiegati solo piombo e acido solforico. Queste sostanze rimangono comunque le più pericolose perché utilizzate in misura massiccia rispetto alle altre (additivi, sigillanti ecc.) che hanno tossicità specifica maggiore, ma utilizzate in quantità notevolmente inferiori e in modo saltuario.

Le emissioni dei principali inquinanti (ossido di piombo in polvere, fumi

acidi, acque contenenti ossidi e solfati di piombo) interessano innanzitutto i singoli posti di lavoro e successivamente l'ambiente esterno. Assumono un'importanza rilevante, in questo tipo di industria, sia a causa della pericolosità degli inquinanti sia per la mole di questi, i sistemi di aspirazione, depolverazione e trattamento delle emissioni.

Quasi tutti i posti di lavoro sono caratterizzati dalla necessità di dover aspirare, mediante cappe, piani gorati e aperture a feritoia, notevoli quantità di aria per assicurare un'adeguata captazione degli inquinanti.

La rete interna di fognatura per le acque industriali convoglia tutti gli scarichi raccolti nei vari reparti all'area per la depurazione e il riciclo delle acque di processo. Le operazioni fondamentali da compiere sono: dissoluzione, neutralizzazione, abbattimento dei solfati e del piombo, sedimentazione ed essiccamento dei fanghi.

Con lo schema di fig. 1 si evidenzia la successione delle fasi di lavorazione, in corrispondenza delle quali è possibile individuare gruppi omogenei di lavoratori esposti a rischi specifici.

Diverse fasi possono essere realizzate in maniera differente, in base alle caratteristiche del prodotto (mescola secca per le polveri delle piastre corazzate, impasto per le piastre spalmate, diverse maturazioni ecc.) e delle tecnologie adottate (produzioni di polveri per via meccanica o chimica, diversi tipi di formazione ecc.).

Preparazione polveri: Metodo meccanico

Le piastre attive degli accumulatori sono generalmente preparate con miscele di ossidi di piombo metallico finemente suddivisi.

Gli ossidi usati per questo scopo sono il litargirio PbO e il minio Pb_3O_4 .

Le aziende minori acquistano gli ossidi di piombo, le maggiori preparano in fabbrica almeno il litargirio direttamente dal metallo.

Il piombo in pani è fuso in cilindretti o in sfere (dimensioni 15-30 mm); questi vengono alimentati ad un mulino di frantumazione, costituito da un tamburo rotante contenente cilindri o coni di acciaio. I movimenti di rotolamento e di scorrimento dei materiali fra loro consentono la frantumazione del piombo che viene parzialmente ossidato da una corrente d'aria insufflata nel mulino. L'ossidazione è esotermica; la temperatura è controllata a 70-90°C per i mulini cilindrici e a 160-190°C per quelli a superfici coniche. Il controllo accurato della temperatura è necessario sia per l'ottenimento di ossidi della composizione voluta sia per evitare di giungere alla fusione del piombo metallico.

L'ossido formatosi è vagliato e raccolto pneumaticamente in sili polmone, separato dall'aria ed eventualmente ulteriormente macinato per l'ottenimento di granulometrie più fini.

Esso contiene ancora circa il 30% di piombo metallico.

In fig. 2 è riportato lo schema di processo.

Fig. 1 - Schema di processo.

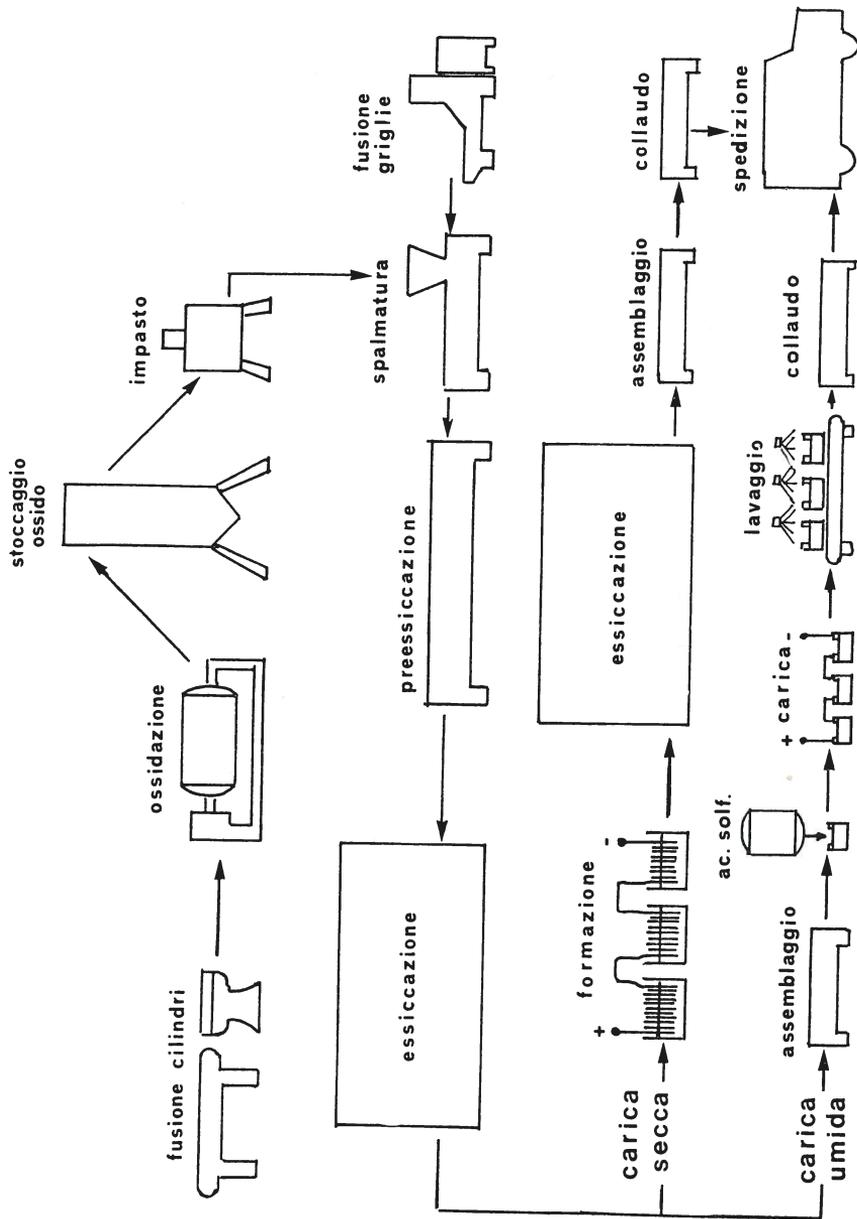
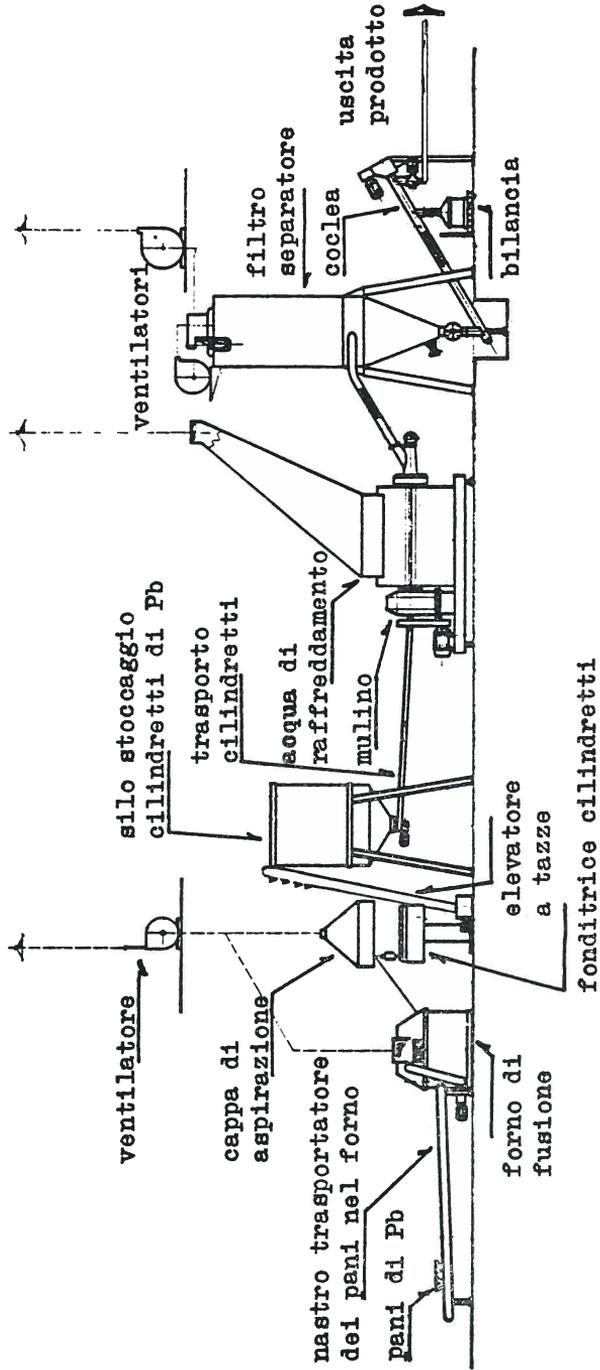


Fig. 2 - Preparazione polveri per via meccanica: disposizione dei macchinari.



Metodo chimico

Nel processo Barton, il piombo, da un forno di fusione, viene immesso mediante una pompa in una camera equipaggiata con un albero a lame ruotanti, il quale polverizza il piombo fuso in piccolissime particelle, che vengono ossidate superficialmente dall'aria. Le particelle polverose di ossido formatesi sono trascinate dalla corrente d'aria verso un sistema di captazione, costituito da un ciclone e da un successivo filtro a maniche. L'ossidazione del piombo procede con notevole sviluppo di calore; il processo viene condotto fra i 250 e i 400°C.

Gli ossidi ottenuti con processo Barton possono essere sottoposti ad ulteriore trattamento in forno a riverbero, dove sono mantenuti in agitazione e lambiti da una corrente d'aria, che consente di ottenere la completa ossidazione del piombo a PbO e una successiva ossidazione a minio (v. fig. 3).

Gli operatori agli impianti per la preparazione delle polveri intervengono a controllare e a regolare il funzionamento che è continuo. Su tali impianti rimangono invece alcune operazioni manuali da eseguire periodicamente: pulizia della macchina fonditrice, introduzione dei pani di piombo nel crogiuolo, eventuale sostituzione dei fusti di raccolta dell'ossido nel caso di assenza di trasporto pneumatico del prodotto ai sili.

I sili per lo stoccaggio degli ossidi devono impedire un eccessivo contatto dell'aria e non devono consentire l'infiltrazione di umidità, anche in condizioni accidentali, che innescerebbe processi di autocombustione. Un impianto per l'immissione di azoto evita, nei casi di emergenza, l'autocombustione.

Preparazione polveri: Rischi

Polveri e fumi di piombo si disperdono durante la movimentazione dei pani di piombo, durante la fusione, nel caso di malfunzionamento dell'impianto e dallo scarico delle polveri in fusti alla fine del ciclo, in mancanza di impianto chiuso di convogliamento ai sili e alla mescola. Nel caso di ciclo meno automatizzato il rischio risulta maggiore, in quanto è richiesto un maggior numero di interventi da parte degli operatori.

Rumore e vibrazioni elevate provengono dal funzionamento del reattore, soprattutto se la preparazione delle polveri viene effettuata col metodo meccanico.

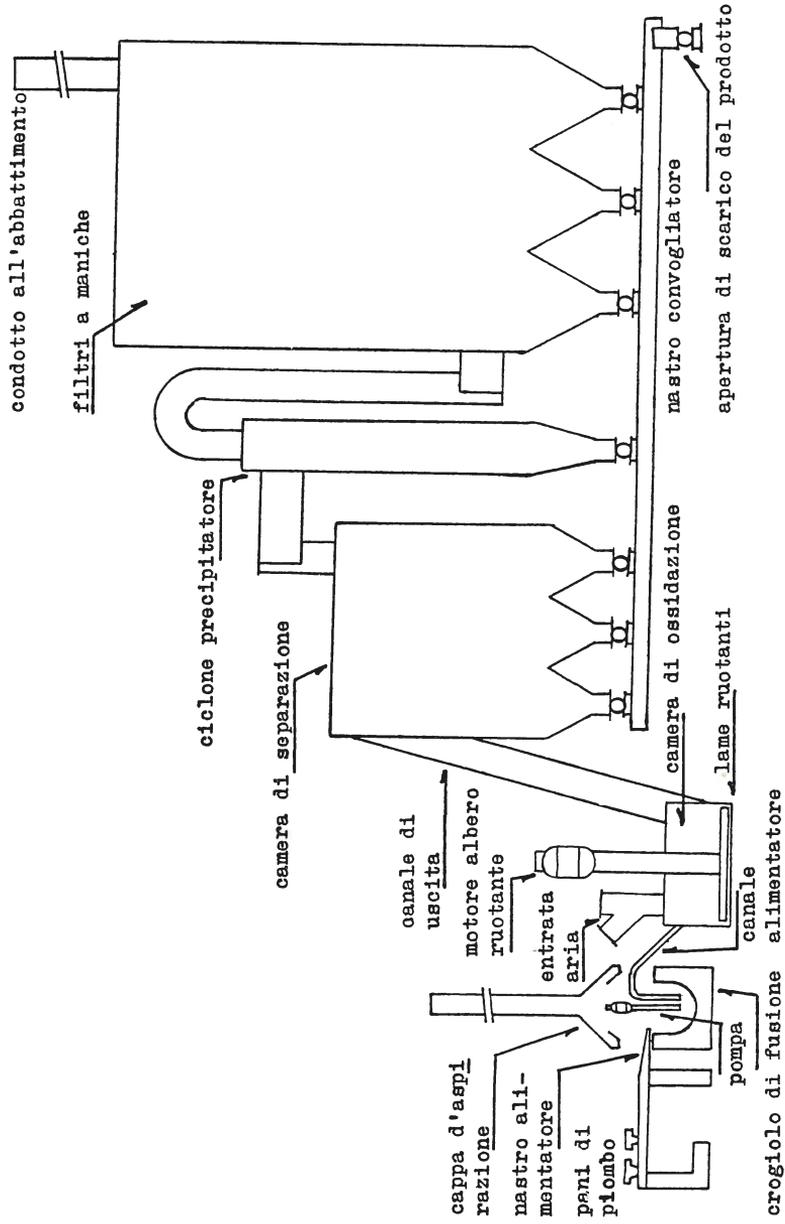
I forni di fusione emettono elevato calore radiante, soprattutto se la preparazione delle polveri viene effettuata col metodo chimico.

Il continuo scorrimento di acqua sul pavimento, necessario a favorire l'abbattimento delle polveri, provoca elevata umidità relativa.

Infine, gli addetti alla movimentazione dei materiali dentro e fuori i reparti sono soggetti a notevoli sbalzi termici.

Il lavoro è generalmente monotono e in posizione isolata dal momento che poche persone per squadra sono addette al controllo e alla regolazione del processo, generalmente in turni anche notturni.

Fig. 3 - Preparazione polveri per via chimica: disposizione dei macchinari.



Preparazione impasti

Le polveri sono mescolate con acqua demineralizzata, acido solforico e con gli additivi richiesti: minio e fibre sintetiche per gli impasti positivi, nero fumo, solfato di bario, lignina solfonata e altri per gli impasti negativi.

Si possono distinguere processi di mescola e impasto discontinui e processi continui.

Le macchine di mescola e impasto sono dotate di contenitori di alimentazione per le polveri e l'acido solforico e di tubazioni per l'acqua demineralizzata. Le polveri, contenute in fusti, vengono caricate con un sistema di sollevamento (skip) e rovesciamento collocato in una camera sotto aspirazione. Gli additivi sono normalmente introdotti attraverso un'apertura ausiliaria.

L'impasto è realizzato in una molazza dalla quale viene estratto o attraverso un'apertura sul fondo o attraverso rovesciamento; può essere raccolto in fusti o inviato in continuo alle macchine spalmatrici mediante benne di trasporto (fig. 4)

Preparazione impasti: Rischi

Polveri di ossidi di piombo e piccole quantità di additivi (nero fumo, lignina solfonata, terra di diatomee, lana di vetro, amianto, fibre naturali e sintetiche, solfati di bario, di stronzio, di nichel, di cobalto, di ammonio, fenoli e stearati metallici) possono liberarsi durante il trasporto e la manipolazione di fusti aperti, nonché durante la pulizia dei locali.

L'esposizione ad acido solforico è saltuaria se il trasporto dell'impasto alle spalmatrici è meccanizzato; può invece essere notevole se la manipolazione dell'impasto è manuale per mezzo di badili.

Le molazze possono produrre elevati *livelli sonori e di vibrazione*, soprattutto a livello della piattaforma di carico.

Le condizioni microclimatiche sono generalmente caratterizzate da basse temperature ed elevata umidità relativa.

Problemi di *organizzazione del lavoro* sussistono quasi esclusivamente negli impianti non meccanizzati:

— *fatica fisica* elevata nella movimentazione di fusti e sacchi di materie prime e prodotti;

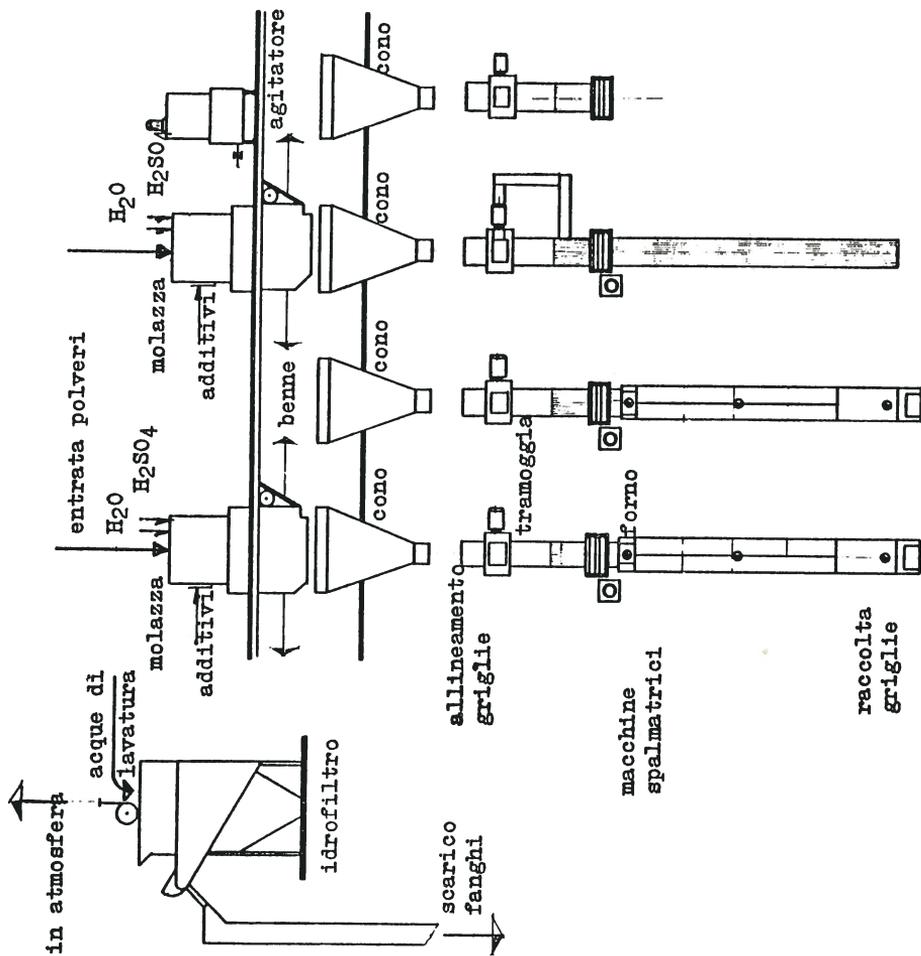
— *ritmi elevati* per lo scarso numero di addetti;

— *infortuni* provocabili dall'errata manipolazione dell'acido solforico, soprattutto su pavimentazioni sconnesse e scivolose.

Fusione griglie e accessori

Gli impasti sono applicati su griglie fuse in lega di piombo-antimonio, che hanno anche la funzione di conduttori metallici. Questo sistema è utilizzato per tutti i tipi di accumulatore ad eccezione della piastra positiva Planté.

Fig. 4 - Preparazione pasta e spalmatura: disposizione dei macchinari.



L'attuale tendenza è di ridurre il tenore di antimonio, la cui presenza conferisce alla lega durezza e resistenza meccanica: attualmente si impiegano leghe al 3,5-6% di antimonio, con tendenza a giungere fino al 2-3%, per consentire la produzione di batterie a manutenzione limitata o addirittura sigillate.

Altra possibilità è quella di sostituire totalmente l'antimonio con calcio (0,6-0,8%) per evitare, fra l'altro, anche il fenomeno dell'autoscarica.

Le macchine fonditrici, generalmente disposte in batteria, sono alimentate dalla lega di piombo, mantenuta fusa in un forno a crogiuolo di piccola capacità (18-20 q.li) che serve uno o due macchine di fusione, attraverso altrettante pompe sommerse di alimentazione.

Ciascuna macchina è munita di un distributore orizzontale basculante, investito da una fiamma riducente rompigoccia e protettiva, dal quale cola periodicamente il piombo fuso all'interno di uno stampo con apertura a ginocchiera.

Per le produzioni di grandi serie, come le griglie avviamento, la cadenza di stampaggio varia fra 10 e 20 pezzi/minuto.

Periodicamente lo stampo è spruzzato con una dispersione di polvere di sughero in soluzione acquosa di silicato di sodio con funzione distaccante.

La macchina fonditrice provvede meccanicamente ad eliminare bave e materozze rinviando in continuo gli sfridi al forno fusorio.

Le griglie ottenute sono raccolte in cataste in attesa di essere inviate alla spalmatura.

La fusione delle griglie trazione avviene generalmente in macchine meno automatizzate e con più bassa cadenza produttiva a causa delle maggiori dimensioni dei manufatti: così possono essere manuali apertura e chiusura dello stampo, estrazione e sbavatura dei pezzi.

Nel locale fonderia possono trovare posto forni di rifusione, utilizzati per controllare e dosare le leghe, e piccole fonditrici per la fusione dei piccoli pezzi.

Fusione griglie: Rischi

Piombo metallico sotto forma di polvere può essere disperso in aria durante la movimentazione di pani e griglie e durante la spazzolatura manuale degli stampi.

Fumi di lega (nella quale è sempre presente arsenico) possono svilupparsi dai crogiuoli e dai canali di colata, con accentuazione del rischio per gli addetti alle fonditrici manuali (griglie per trazione).

Durante la manutenzione dei forni possono essere dispersi in aria *polveri silicotigene e fibre di amianto*, provenienti da coibenti e refrattari.

Ossido di carbonio si può sviluppare dalla combustione incompleta dei gas di alimentazione dei forni e dalle fiamme protettive riducenti.

Il microclima è caratterizzato dal calore radiante proveniente dai forni e dalle fiamme; il disagio può essere accentuato da spazi ristretti.

Il *rumore* è generalmente elevato ed è provocato dallo scarico delle griglie, dalle valvole pneumatiche, dai motori di aspirazione.

Il lavoro è generalmente organizzato in *turni*; i *ritmi* possono essere elevati, così come la fatica fisica, soprattutto negli impianti non meccanizzati utilizzati per griglie da trazione.

Gli *infortuni* sono frequenti e provocati da schizzi di piombo fuso durante il carico manuale dei forni; la movimentazione delle griglie Planté risulta più facilmente causa di infortuni.

Spalmatura

La spalmatrice provvede a riempire le cavità delle griglie con gli impasti mediante rullatura.

Negli impianti automatici, la pasta arriva meccanicamente alla tramoggia delle spalmatrici; negli altri casi, l'impasto è alimentato alla tramoggia della spalmatrice per rovesciamento dai fusti di contenimento sollevati sopra la tramoggia stessa.

In genere, l'addetto al travaso dell'impasto provvede anche al rifornimento della spalmatrice con le griglie.

Le griglie vengono automaticamente spalmate dalla macchina sopra un nastro trasportatore, vengono quindi strizzate attraverso una coppia di rulli e infine inviate, mediante un trasporto a catena, in un forno a tunnel riscaldato a 250°C con fiamma a gas metano, dove vengono grossolanamente asciugate.

In alcuni casi, il riscaldamento del forno può essere elettrico, eliminando così le emissioni di CO e migliorando le condizioni microclimatiche

All'uscita dal tunnel, un addetto provvede a raccogliere e spazzolare manualmente le piastre riponendole su un cavalletto di attesa.

I tubetti e le tasche delle *piastre corazzate* sono riempiti con una miscela secca di polveri (PbO + piombo metallico). La miscela è eseguita in recipienti chiusi con l'aggiunta di nero fumo; ai mescolatori le polveri possono arrivare direttamente dai silo attraverso tubazioni o essere introdotte manualmente da contenitori aperti.

La macchina di riempimento (carosello) è costituita da una guida rotante che sostiene le griglie a spine, sulle quali sono stati in precedenza introdotti manualmente i contenitori (tubetti). La polvere riempie i tubetti per vibrazione.

In tempi brevi verrà introdotto anche in Italia un nuovo, e per alcuni aspetti notevolmente innovativo, sistema per la preparazione delle piastre spalmate. Una macchina di colata rifornisce la lega ad un laminatoio che prepara un nastro. Il nastro viene confermato a forma di griglia (viene tagliato longitudinalmente ed esteso trasversalmente) e direttamente spalmato ed essiccato in continuo mediante l'uso di rulli riscaldati da resistenze elettriche. La pasta è protetta superiormente e inferiormente con carta velina che limita la dispersione della polvere. Il nastro spalmato ed essiccato viene

tranciato ottenendo le piastre, le quali vengono infine imbustate per evitare la perdita di massa attiva ai bordi.

Questa tecnologia di produzione continua delle piastre spalmate consente notevoli risparmi di energia e di materiale per la griglia; riunificando diverse fasi tradizionali, abbatterebbe in misura rilevante i costi di produzione.

Non è invece possibile esaminare i rischi legati a questo sistema in quanto la produzione non viene ancora condotta in maniera industriale.

Dopo la spalmatura, le piastre sono sottoposte al processo di *maturazione* con lo scopo di consentire la lenta ossidazione del piombo metallico della pasta fino ad un contenuto residuo inferiore all'1%.

La maturazione può essere realizzata in diversi modi:

1) le piastre sono appese singolarmente in scaffali con piccole separazioni. Le piastre sono soggette a un flusso di vapore, poi eventualmente di aria secca e infine riscaldate. La maturazione e l'essiccamento durano dalle 16 alle 48 ore;

2) le piastre vengono stese su un nastro e introdotte in un forno a tunnel nel quale la temperatura aumenta e l'umidità diminuisce;

3) le piastre vengono essiccate rapidamente e successivamente riscaldate con stufe a raggi I.R. in modo da poter essere velocemente accatastate in pacchi. I pacchi sono ricoperti con teli e lasciati maturare in condizioni ambientali da 4 a 6 giorni;

4) le piastre vengono immerse in soluzione solforica o spruzzate con acido solforico per formare un consistente strato superficiale di solfato di piombo: questo procedimento è frequentemente usato per le piastre corazzate. La maturazione e l'essiccamento sono realizzati come descritto ai punti 1 e 3.

Spalmatura: Rischi

Può essere dispersa *polvere di piombo* durante la movimentazione delle piastre, all'uscita del forno di preessiccamento, durante la spazzolatura finale e durante la pulizia dell'impianto e del reparto. Particolarmente elevata può essere l'emissione di polveri di ossido di piombo nell'insaccamento delle griglie corazzate.

Vapori acidi esalano dall'impasto, in particolare durante il carico manuale nelle tramogge delle spalmatrici.

Le *condizioni microclimatiche* possono essere alterate per la presenza dei forni di essiccamento e per l'umidità provocata dallo scorrimento di acqua sul pavimento.

I bruciatori dei forni possono essere *rumorosi*; il rumore può essere più elevato nel caso di impianto mescola-impasto situato direttamente sopra la macchina spalmatrice.

La *fatica fisica* può essere notevole per la movimentazione manuale dei pesanti pacchi di griglie e per il carico dell'impasto nelle tramogge. Il lavoro può inoltre essere disagiato per la necessità di usare con continuità mezzi di protezione individuale.

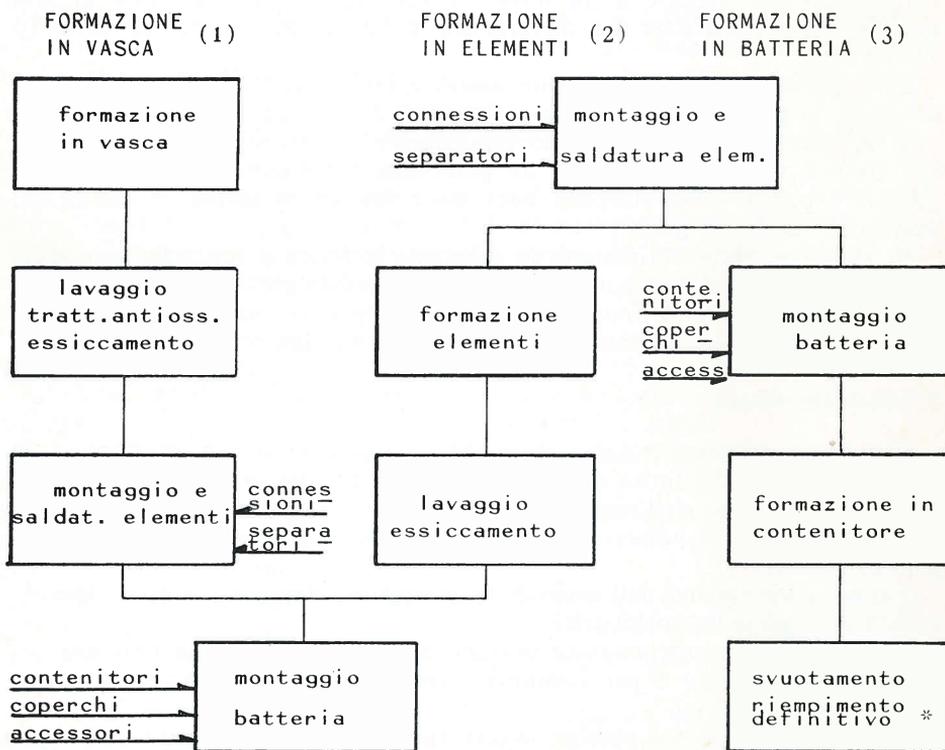
Formazione (v. schema in fig. 5)

Nella fabbricazione delle batterie avviamento, le piastre fin qui ottenute possono essere destinate all'impiego in batterie a *carica secca*, a *carica secca speciale* e a *carica umida*.

Nel primo caso, la formazione avviene in *vasca* ed ha lo scopo di realizzare le reazioni da (1) a (5) (v. pag. 1) da destra verso sinistra per consentire il processo di carica, mediante corrente imposta.

In tal modo, sulla piastra positiva tutto il piombo è trasformato in bios-

Fig. 5 - Schema dei possibili sistemi per effettuare la formazione delle piastre impastate.



(1) a gruppi in appositi contenitori

(2) dopo l'assemblaggio in elementi (con separatori)

(3) dopo l'inserimento degli elementi nelle celle del contenitore

(*) nel caso di carica secca speciale non si effettua un nuovo riempimento.

sido; viceversa, sulla piastra negativa, i composti ossidati del piombo sono ridotti a piombo metallico spugnoso.

La formazione in vasca è condotta in contenitori di ceramica o di plastica o in vasche rivestite di piombo, nelle quali le piastre sono inserite a pettine e collegate alternativamente da conduttori di piombo saldati.

I contenitori sono fissi o possono essere trasportati a postazione per l'inserimento e l'estrazione delle piastre. Nel primo caso le vasche sono disposte orizzontalmente e la superficie di emissione delle nebbie acide è molto elevata. Per diminuire lo sviluppo di nebbie acide nell'ambiente e la stagnazione di miscele esplosive ossigeno-idrogeno, le vasche sono poste sotto aspirazione. Talvolta si usano tensioattivi schiumogeni o sfere galleggianti per ridurre la superficie di emissione.

Nel caso dei contenitori trasportabili, si usano camere di formazione disposte a scaffali anche su più piani. Un reparto di formazione realizzato in questo modo occupa meno spazio e consente di realizzare i collegamenti elettrici fra le piastre senza saldatura.

Nelle batterie a *carica secca speciale*, la formazione è realizzata con piastre già introdotte nel contenitore definitivo completamente assemblato. A fine formazione le batterie sono tolte dai banchi di carica, svuotate dell'acido contenuto e riempite con nuovo acido contenente solfato di sodio. Dopo un periodo di riposo di 20-25 minuti, il nuovo acido viene tolto e le batterie sigillate con tappi speciali e inviate alle linee di finitura.

Scopo dell'impiego del solfato di sodio è quello di evitare l'autoscarica durante l'immagazzinamento precedente alla vendita e all'utilizzo; nelle batterie a carica secca tradizionali lo stesso fine è raggiunto con un lungo e costoso procedimento di essiccazione (v. avanti) precedente l'assemblaggio.

Nelle batterie a *carica umida*, il processo di carica è eseguito a batteria assemblata come nel caso della carica secca speciale, con la differenza che l'elettrolita, a fine carica, è sì rinnovato ma è mantenuto definitivamente.

Trattamenti dopo la formazione

Le piastre e gli elementi ottenuti con la formazione in vasca o in gruppi vanno lavati ed essiccati.

Le *piastre positive* delle batterie avviamento possono essere essiccate velocemente (1/2 ora) in forni continui a tunnel (massimo a 120°C in atmosfera controllata) o esposte all'aria senza ulteriori precauzioni.

Le piastre negative vengono trattate in modo che il piombo metallico spugnoso non venga riossidato dall'aria, in uno dei seguenti modi:

- 1) essiccamento in gas di combustione povero di ossigeno;
- 2) essiccamento con vapore surriscaldato;
- 3) essiccamento dopo impregnazione con inibitori di ossidazione organici (fenolo e cresolo) o inorganici (acido bórico);
- 4) essiccamento dopo l'aggiunta di sostanze impermeabilizzanti nella pasta: idrocarburi, acido stearico, acido lanolinico;

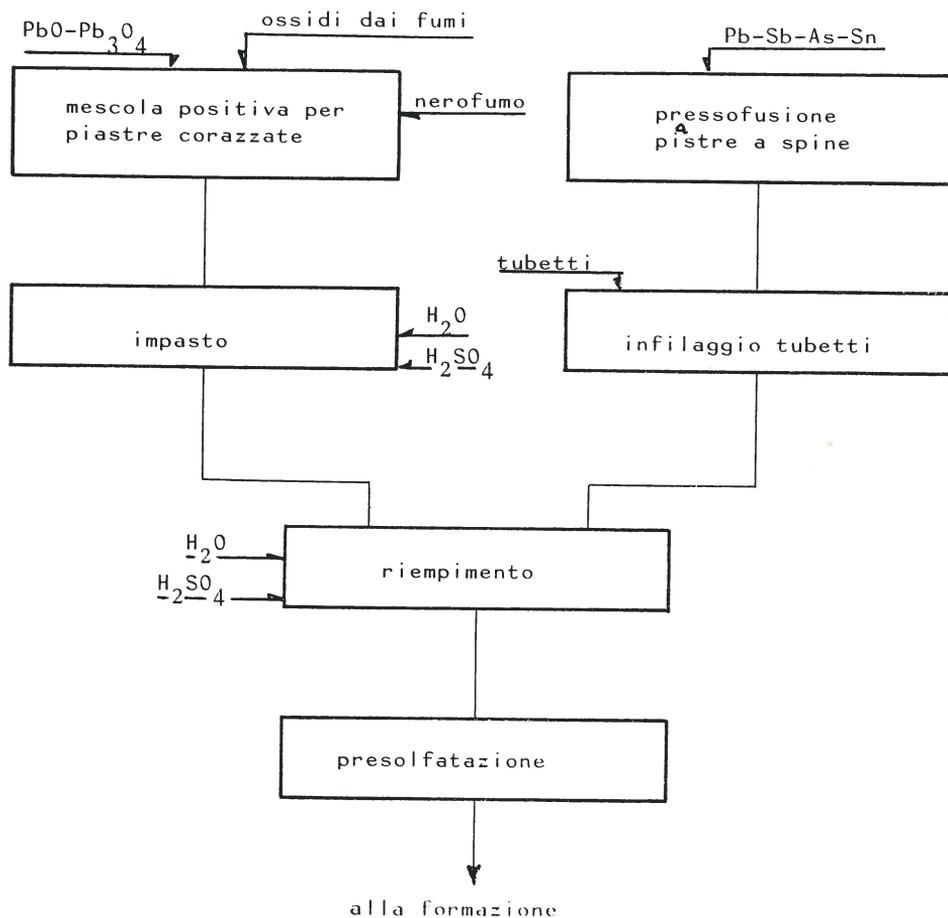
5) essiccamento mediante distillazione con idrocarburi (petrolio, cherosene ecc.): le piastre umide sono immerse in bagno di idrocarburi a 110-130°C.

La scelta del processo di essiccamento delle piastre negative è guidata da considerazioni economiche e dalle proprietà desiderate nelle batterie.

Formazione delle piastre corazzate (vedi schema in fig. 6)

Prima della formazione le piastre sono immerse in acido solforico in vasca e collegate con barre conduttrici di piombo mediante saldatura; se-

Fig. 6 - Schema delle operazioni eseguite prima della formazione delle piastre corazzate.



guono quindi un procedimento analogo a quello adottato per le piastre delle batterie avviamento.

Nelle piastre per batterie Planté, la massa attiva è ottenuta per corrosione elettrochimica, con grande impiego di tempo e di energia, partendo da una spessa lastra di piombo dolce.

Le piastre Planté sono impiegate unicamente come positive in combinazione con piastre negative impastate o realizzate a cassa, dove la materia attiva è trattenuta da fogli di piombo forati.

Formazione: Rischi

Si svolgono nebbie di *acido solforico* durante la formazione in vasca, soprattutto nella fase finale.

Possono liberarsi *polveri e fumi* di piombo durante la movimentazione delle piastre e la saldatura delle barre di collegamento.

Può essere presente *ossido di carbonio* nei forni di essiccazione riducenti.

È possibile il contatto cutaneo e l'inalazione di *fenoli e idrocarburi*.

Sono frequenti infortuni provocati dal contatto accidentale con acido solforico.

Montaggio elementi e batterie

Il montaggio delle batterie può essere realizzato prima o dopo la formazione delle piastre.

Nel primo caso le piastre prodotte abbinata vengono separate con una sega all'uscita del preessiccamento dopo la spalmatura. Diversamente, la separazione delle piastre doppie può essere effettuata come ultima operazione prima della composizione degli elementi.

Le *batterie avviamento* sono generalmente montate su moderne linee, dove sono meccanizzati il trasferimento dei componenti, la composizione dell'elemento, la sigillatura e altre operazioni, sebbene esistano ancora realtà industriali nelle quali si fa largo uso di manodopera per compiere manualmente le stesse operazioni.

Ogni elemento di una batteria si compone di un certo numero di piastre positive e negative montate alternativamente affiancate e distanziate dai *separatori*; i separatori hanno la funzione di evitare il corto circuito fra piastre di segno opposto consentendo al contempo la diffusione degli ioni dell'elettrolita. In genere sono costituiti da sottili fogli di materiale plastico permeabile (acetato di cellulosa, policloruro di vinile, polietilene), ma talvolta vengono impiegati sottili strati di lana di vetro.

Nel montaggio manuale, l'operatore alterna le piastre positive e le negative con i separatori, prelevando i componenti da pacchi. Nella composizione meccanizzata, le piastre sono prelevate da bracci muniti di ventose da un deposito e allineate su un tappeto che trasporta i gruppi in composizione;

la funzione degli operatori si limita al rifornimento dei magazzini delle macchine.

Il pacco formato viene pareggiato manualmente e preparato in rastrelliere per la saldatura (meccanizzata o manuale) dei pettini di collegamento (in piombo).

Gli elementi saldati sono quindi posti nei contenitori (scatole parallelepipedo in acrilonitrile-stirolo, in polipropilene, in policloruro di vinile); i contenitori sono avviati ad una linea che provvede a diverse operazioni:

— controlli elettrici, per verificare la continuità del circuito ed eventuali cortocircuiti;

— pinzatura meccanica o saldatura degli elementi fra loro;

— sigillatura a caldo sotto pressione del coperchio;

— controllo pneumatico della tenuta ed eventuali altri controlli elettrici anche statistici;

— etichettatura o stampa serigrafica e imballo

Le batterie a carica secca speciale sono riempite dall'elettrolita di formazione e avviate ai banchi di carica; dopo la carica, sono svuotate dall'elettrolita, lavate ed asciugate (v. fig. 7).

Le batterie a carica umida, dopo il lavaggio successivo alla carica, sono riempite dell'elettrolita fresco e sigillate.

A causa del loro ingombro, le *batterie trazione* sono generalmente montate manualmente.

Le piastre, che possono essere rifinite con taglierina e mola, sono montate in elementi con una procedura analoga a quella descritta per le batterie avviamento; la differenza principale consiste nella sigillatura con pece fusa dei contenitori, il cui materiale da costruzione è generalmente ancora l'ebanite.

La sigillatura è solitamente manuale, eseguita per versamento col mestolo della pece fusa, alla fine livellata per sfiammamento.

Montaggio elementi e batterie: Rischi

Polvere di piombo può essere dispersa durante la movimentazione, il taglio, la finitura delle piastre essiccate; fumi di piombo possono prodursi durante la saldatura.

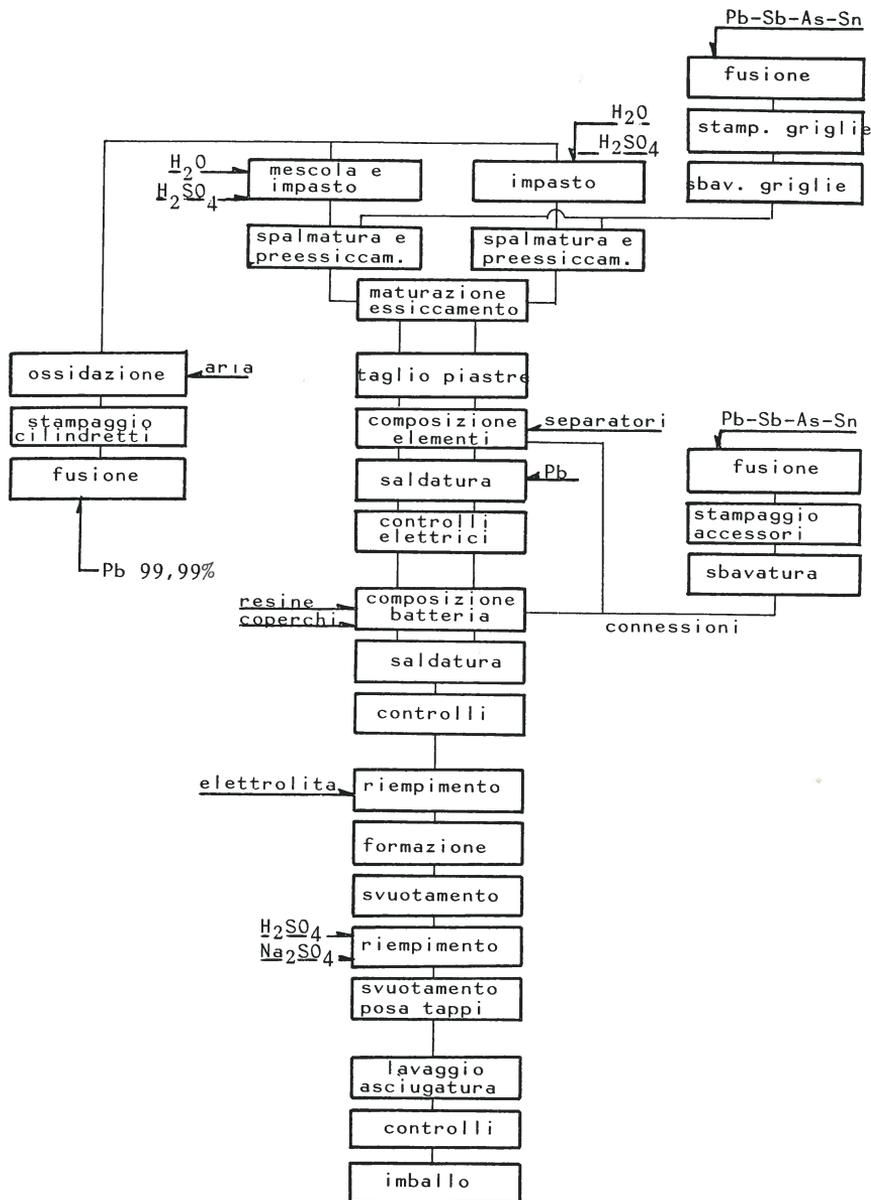
È probabile il contatto con *acido solforico* durante lo svuotamento delle batterie a carica secca speciale e a carica umida.

Fumi di idrocarburi (anche aromatici) vengono emessi durante la sigillatura con pece delle batterie trazione e delle grosse batterie avviamento.

Vapori di solventi possono essere inalati durante le operazioni di pulizia delle macchine di sigillatura dei coperchi.

Alcune batterie avviamento possono essere sigillate con resine poliuretiche; non è quindi improbabile la dispersione di vapori di isocianati e di ammine impiegate come acceleranti.

Fig. 7 - Schema di produzione di accumulatori a carica secca speciale.



Polvere, di talco viene dispersa dalle macchine di chiusura dei coperchi, nelle quali è impiegata come antiadesivo.

Le macchine automatiche di montaggio e i motori degli impianti di aspirazione possono essere *rumorosi*.

È generalmente notevole la *fatica fisica* per il peso dei componenti spostati e per il ritmo imposto da alcune macchine.

Il materiale di documentazione utilizzato per la stesura di questa relazione deriva dalle seguenti fonti, che gli autori ringraziano vivamente:

S.M.L. di Sesto S. Giovanni (Milano), S.M.L. di Milano 10, Magneti Marelli, Compagnia Generale Accumulatori (ex FAR-Tudor), Scaini, Scaini Sarda, Betacom, Uranio, Fiamm.