

Capitolo 7

I semiprodotti di alluminio

7.1. Introduzione

In questo capitolo vengono presi in considerazione gli aspetti più importanti relativi alle tecnologie produttive dei semiprodotti di alluminio d'impiego commerciale, estrusi, laminati, forgiati e getti di fonderia.

7.2. I profilati estrusi

L'estrusione è una tecnica di trasformazione adottata per molti metalli, ma particolarmente importante per le leghe di alluminio, perché consente la realizzazione con elevata produttività di semilavorati di forma anche complessa dotati di buone proprietà e prestazioni.

Il principio dell'estrusione è molto semplice (figura 1a): il materiale da estrudere, la billetta, viene inserito ad elevata temperatura in un contenitore, e viene sospinto da un pistone contro uno stampo, la matrice, dotato di una apposita fenditura, attraverso la quale il metallo può fuoriuscire assumendone la sezione.

Il ciclo di fabbricazione degli estrusi di alluminio può essere schematizzato come indicato nella figura 1b.

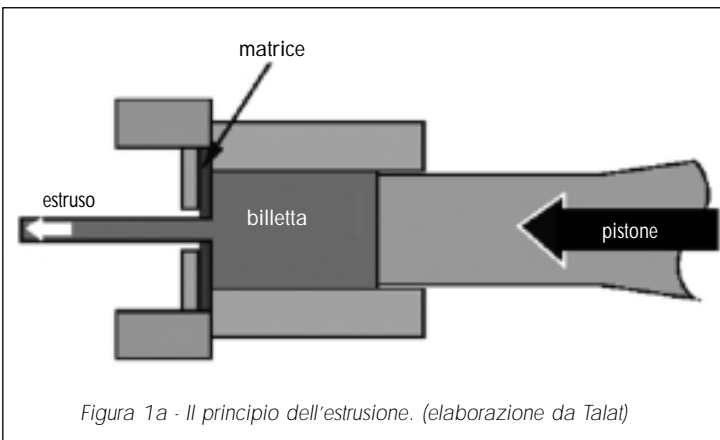


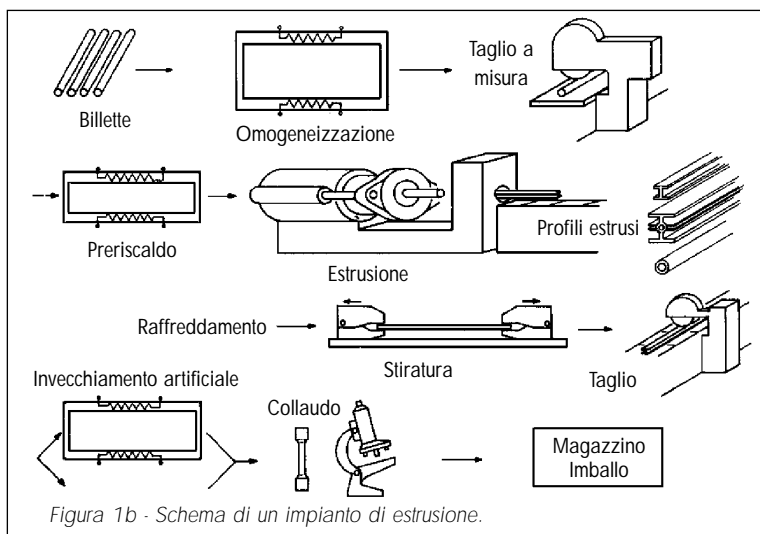
Figura 1a - Il principio dell'estrusione. (elaborazione da Talat)

La macchina destinata ad operare l'estrusione è la pressa (figure 2a e 2b), ed il cuore del processo è la matrice o filiera, costituita nella sua forma più semplice da un disco di acciaio adatto a lavorare a caldo, in cui una fenditura, realizzata con criteri particolari, riproduce la forma del profilato che si vuole ottenere

(figura 3).

La matrice è contenuta, insieme ad altre attrezzature ausiliarie, in una slitta che fa parte della pressa (figura 4).

Contro la slitta è tenuto strettamente aderente un contenitore ove viene introdotta la billetta - un formato solitamente di sezione cilindrica realizzato per colata semicontinua - preventivamente riscaldata ad una tempe-



ratura compresa tra 450 e 500 °C a seconda del tipo di lega. L'uniformità di temperatura della billetta è assicurata dal fatto che anche il contenitore è riscaldato, in genere mediante resistori incorporati. Contro la billetta preme l'asta pressante, che porta al suo estremo libero la testa pressante, destinata ad assorbire l'usura del contatto col metallo caldo in movimento e quindi ad essere periodicamente sostituita. Provvede alla spinta un pistone principale mediante olio idraulico, tenuto in pressione nel cilindro principale da apposite pompe. Alle temperature considerate, la resistenza allo scorrimento delle leghe di alluminio è molto bassa, quindi sotto l'azione di questa spinta la billetta può scorrere attraverso il foro della matrice, generando una barra estrusa che ha come sezione retta quella del foro stesso, a meno dei ritiri di raffreddamento.

Prima che la testa pressante, nel movimento di avanzamento dell'asta, tocchi la matrice, il processo viene arrestato. Il contenitore scorre all'indietro verso il cilindro liberando la matrice cui resterà aderente il residuo di billetta (fondello); l'asta pressante arretra ed il fondello viene distaccato dalla matrice mediante una cesoia che scende dall'alto.



Figura 2a - Pressa da estrusione da 600 tonnellate. (foto Prima)

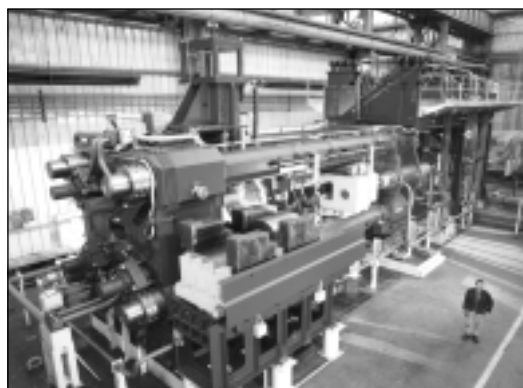


Figura 2b - Pressa da estrusione da 6050 tonnellate. (foto Metra)

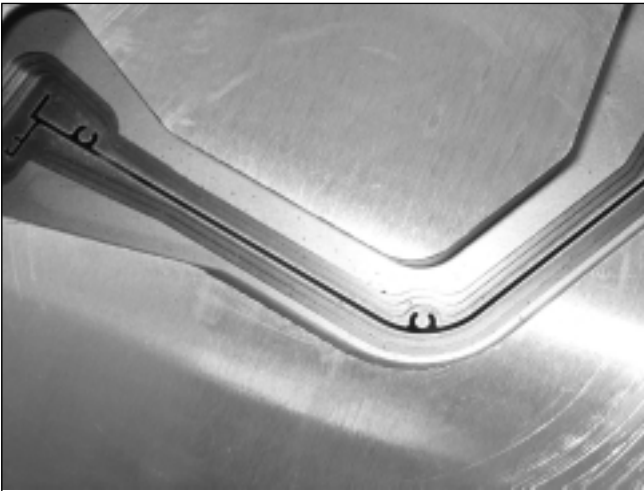


Figura 3 - Dettaglio di una matrice di estrusione piana. (foto Alto)

La massima spinta che il pistone principale è capace di generare si chiama potenza della pressa (in realtà si tratta di una forza: tuttavia il termine, anche se improprio, rende l'idea ed è universalmente adottato). La spinta della pressa viene misurata in tonnellate; le presse industriali hanno potenze variabili da 500 a 20.000 t, e la maggior parte di quelle operanti nel mondo sono nel campo compreso fra 1.200 e 3.500 tonnellate.

7.2.1. Tipi di estrusione

I principali metodi di estrusione dell'alluminio di uso industriale sono rappresentati nelle figure 5a e 5b:

- estrusione diretta semplice (figura 5a, schema A); è la tecnica base come illustrato al punto 7.2;

- estrusione diretta con foratore (figura 5a, schema B); viene utilizzata nell'estrusione dei profilati cavi quando per vari motivi non siano utilizzabili le matrici tradizionali (si veda al punto 7.2.3.).

Nell'estrusione diretta con il foratore, il ciclo avviene in genere secondo le seguenti fasi:

- 1) pistone ed apparato foratore avanzano solidali, finché la testa pressante non si appoggia

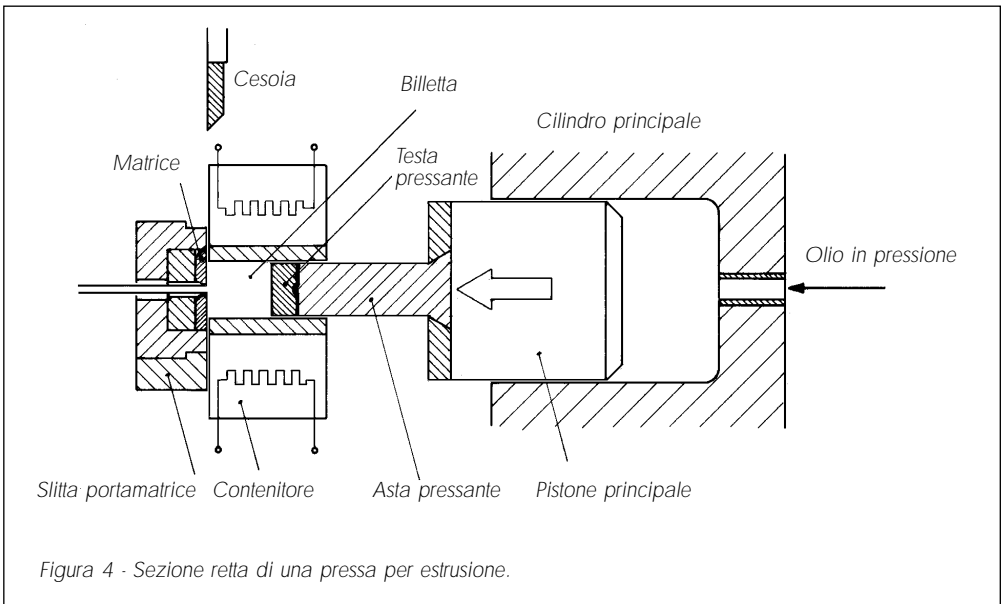
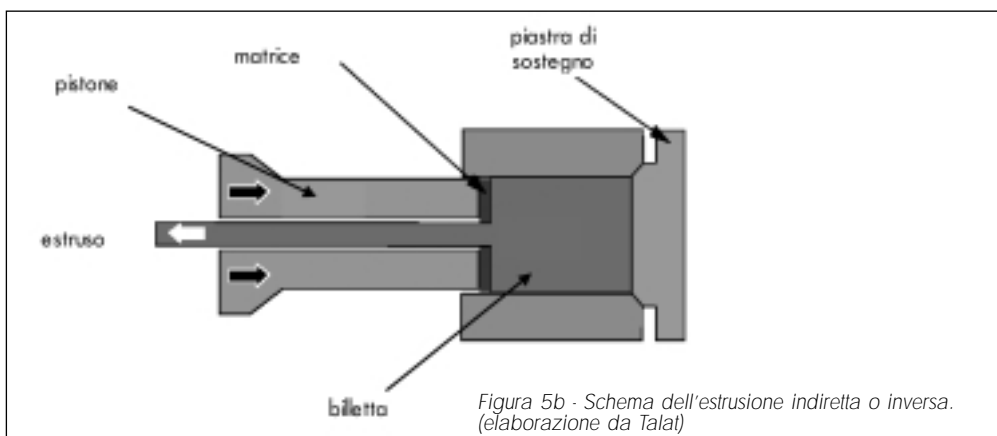
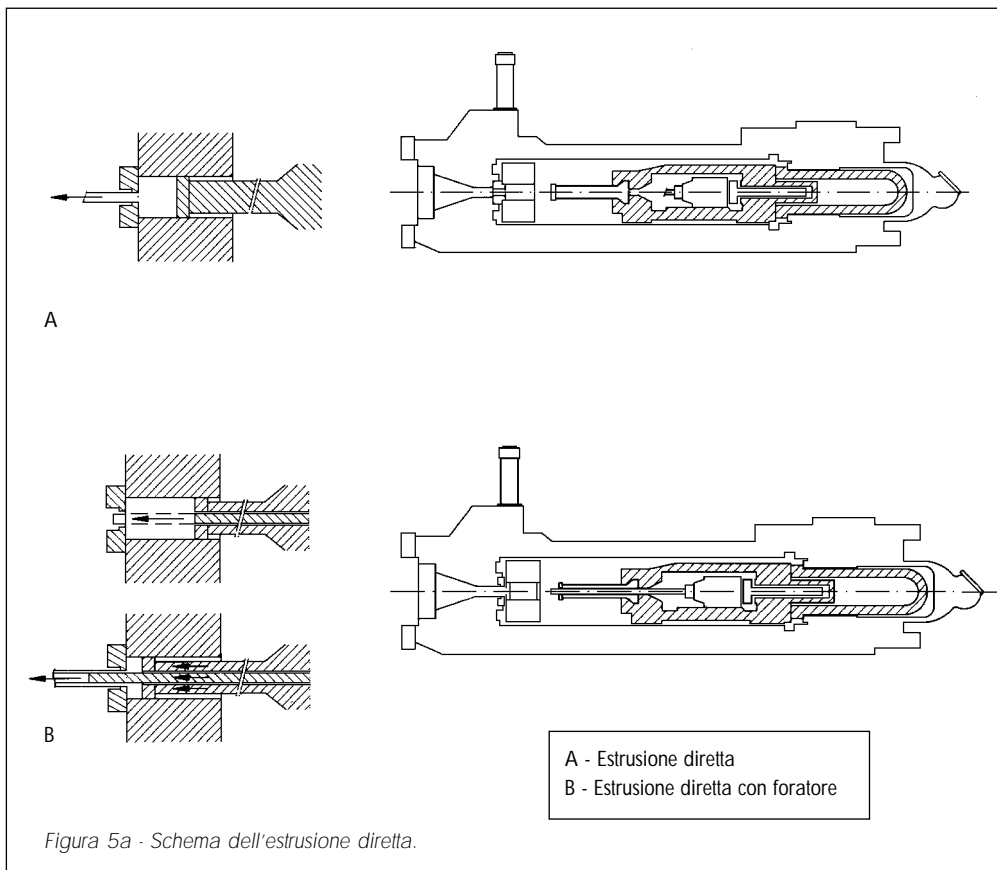


Figura 4 - Sezione retta di una pressa per estrusione.

sulla billetta;

2) rimanendo ferma l'asta pressante, avanza l'apparato foratore; la spina attraversa la billetta forandola (ma solitamente la billetta è già forata) e si arresta quando la sua estremità è penetrata nel foro della matrice;



3) rimanendo ora ferma la spina, avanza l'asta pressante; la billetta si estrude attraverso lo spazio rimasto libero fra la matrice e la spina, e si genera un profilato cavo;

- estrusione indiretta o inversa (figura 5b); nell'estrusione diretta, la spinta della pressa genera entro il contenitore delle pressioni molto elevate che fanno aderire la periferia della billetta alle pareti del contenitore stesso; poiché il contenitore è fermo e la billetta avanza, le parti interne della billetta si muoveranno più agevolmente di quelle periferiche con notevoli reazioni di attrito, che possono assorbire oltre il 20% della potenza della pressa, limitando le possibilità di estrusione in particolare per le leghe dure e per bassi spessori.

Nell'estrusione inversa il contenitore viene fatto avanzare alla stessa velocità e nella stessa direzione dell'asta pressante; non esistono quindi movimenti relativi fra billetta e contenitore, non si verificano reazioni di attrito e tutta la potenza della pressa viene utilizzata per l'estrusione della billetta. A parità di macchina, si potranno quindi ottenere profilati a pareti più sottili oppure maggiori velocità di estrusione; inoltre questa lavorazione consente di restare abbastanza lontani dall'incrudimento critico, e quindi di limitare sensibilmente i fenomeni di ingrossamento del grano cristallino verso la coda dei profilati, frequenti per le leghe dure e motivo di scarti notevoli.

Insieme a questi lati positivi, l'estrusione inversa presenta alcuni limiti: si è visto ad esempio che in estrusione diretta la parte corticale della billetta, sempre ricca di ossidi e di precipitati duri, rimane praticamente ferma contro la parete del contenitore e viene spazzata dalla testa pressante che ne provoca il riflusso nel fondello. In estrusione inversa ciò non avviene: la parte corticale della billetta va a formare la superficie del profilato, sulla quale si trasferiscono così eventuali difettosità, con possibili conseguenze sull'aspetto estetico. Altra importante limitazione dell'estrusione inversa consiste nel fatto che il profilato deve passare entro l'asta portamatrice, e ciò limita sensibilmente le dimensioni trasversali ottenibili nell'estruso.

7.2.2. L'impianto di estrusione



Figura 6 - Billette da estrusione all'uscita del pozzo di colata. (foto Hydro)

Nel tipico impianto di estrusione, schematizzato nella figura 2, si parte da billette cilindriche (figura 6) con diametri variabili tra 50 e 500 mm e lunghezza compresa tra 6000 e 7000 mm, che prima di essere introdotte nel contenitore della pressa, vengono riscaldate in un apposito forno e sezionate alla lunghezza desiderata.

In alcuni casi, per la produzione di profilati di forma particolare, vengono utilizzati contenitori rettangolari.

All'uscita del forno le billette vengono sottoposte alla cesoiatura a caldo, cioè al taglio in spezzoni di lunghezza adeguata a quella prevista per le barre di estruso.

Come le billette, anche le matrici, prima di essere messe in macchina, vengono riscaldate in un apposito forno per il riscaldamento delle matrici. All'uscita della macchina, il profilato può subire la tempra alla pressa, passando entro una vasca contenente acqua a temperatura ambiente oppure sotto una batteria di ventilatori, dopodiché si distende sul banco di scorrimento. L'alternativa è rappresentata dal trattamento di tempra formale, basato su una solubilizzazione e successivo raffreddamento rapido in acqua o altro mezzo temprante; la tempra formale è l'unica possi-

bile per certe leghe, tuttavia, oltre ad essere operativamente più onerosa, può provocare deformazioni non reversibili su profilati con spessori sottili. Come si è visto parlando dei trattamenti termici, il problema della tempra drastica non si pone per la stragrande maggioranza degli estrusi, realizzati in lega 6060 o similari (6063, 6463, 6101).

Per questi prodotti, un buon raffreddamento alla pressa in aria ventilata è del tutto sufficiente ad



Figura 7a - Profili estrusi in uscita dalla pressa. (foto Estral)

assicurare agli estrusi la capacità di indurire per invecchiamento. Anche per leghe più sensibili alla velocità di tempra, come la 6082, la 6061 e la 6005, il raffreddamento alla pressa è sufficiente, purché venga usata acqua finemente nebulizzata. Solo per le principali leghe 2000 e per le 7000 contenenti rame è quasi sempre indispensabile ricorrere alla tempra eseguita su forni appositi.

Ritornando al ciclo operativo dell'estrusione, il profilato in uscita dalla pressa (figura 7a) viene trascinato da un puller o tiraprofilo, che esercita una lieve trazione dell'ordine di 0,25 kg per mm² di sezione retta del profilato; non si tratta quindi di una stiratura a caldo, ma di una operazione che ha lo scopo di mantenere in sesto il profilato ed evitare svergolamenti, ondulazioni, sciabolature, deformazioni di alette e simili.

Il puller ha inoltre l'importante funzione di mantenere pareggiate le lunghezze dei profilati in uscita da una matrice a più luci, sempre che la differenza di lunghezza che si avrebbe senza puller fra il profilato più lungo e quello più corto del gruppo sia al massimo dell'ordine di 2 m su una lunghezza complessiva di 50 m.

Una segatrice a caldo provvede al taglio degli estrusi al termine di ogni billetta (o ad intervalli intermedi a seconda delle necessità).

Una volta tagliato, l'estruso viene trasferito (figura 7b) verso la stiratrice su un banco solitamente raffreddato da ventilatori disposti al di sotto del pianale; è importante infatti che i profilati pervengano freddi alla stiratura, poiché altrimenti questa operazione conferirebbe alle superfici un tipico aspetto corrugato, difetto conosciuto con il termine "buccia d'arancia".

La stiratura, effettuata con macchine a teste mobili per adattarsi alle varie lunghezze estruse, ha lo scopo di eliminare qualsiasi curvatura del profilato determinata dalla differente velocità di raffreddamento delle sue varie parti; ciò si ottiene con un tiro in grado di determinare un allungamento permanente del 2÷3%. Se l'allungamento fosse eccessivo, anche sui profilati freddi potrebbe comparire il fenomeno della buccia d'arancia.

Dalla stiratrice, il profilo viene fatto passare su un banco di taglio a misura dove avviene il taglio a lunghezza finita mediante segatrice a freddo a riscontro; infine, l'estruso viene caricato in apposite ceste per l'invio al forno di invecchiamento o comunque alle lavorazioni successive. Le varie traslazioni degli estrusi dall'una all'altra sezione dell'impianto vengono effettuate secon-



Figura 7b - Particolare della zona trasferimento profilati in un impianto di estrusione. (foto Omav)

do tecniche sempre più raffinate e sofisticate, in modo da evitare o limitare il più possibile danneggiamenti ai profilati, come le ammaccature, specialmente quando le barre sono ancora calde. Altri difetti possono prodursi per non corretto stivaggio dei profilati nelle ceste, o per scarsa cura durante le manipolazioni che le ceste devono subire. Un altro difetto di natura microstrutturale si può generare sul banco di movimentazione, dove il profilato

viene raffreddato da aria soffiata dal basso, ma si raffredda di più dove la sua luce è libera che non nelle zone d'appoggio; in tal modo si possono determinare diversità nella struttura metallurgica dell'estruso, con la possibile comparsa di differenze di colore dopo eventuale ossidazione anodica.

Un impianto di estrusione è completato dai seguenti equipaggiamenti principali:

- un forno di solubilizzazione e tempra (temperatura di esercizio sui 500 °C) per i prodotti che non ammettono tempra alla pressa; il raffreddamento è ottenuto per successiva rapida immersione in acqua. Un raffreddamento così drastico tende, come si è accennato, a distorcere fortemente i profilati; per limitare il fenomeno si ricorre alla tempra in verticale, cosicché il peso proprio delle barre tenda a mantenerli ragionevolmente dritti. Si tenga comunque presente che è sempre un problema complesso, e spesso di impossibile soluzione, temprare con questo sistema profilati sottili o poco raccolti;
- una stiratrice fuori linea, per stirare i profilati dopo tempra;
- un forno per l'invecchiamento artificiale con temperatura di esercizio sui 200 °C;
- un forno di ricottura, per eventuali forniture di materiali ricotti, con temperatura di esercizio 300÷500 °C;
- una rullatrice per corregge-



Figura 8 - Particolare della zona imballo profilati in un impianto di estrusione. (foto Emmebi)

re difetti di angolarità, bombature, etc.;

- una segatrice fuori linea, per tagliare i profilati a misure inferiori a quelle razionalmente ottenibili sulla linea di estrusione, oppure per "spuntare" i profilati temprati al forno di tempra e stirati alla stiratrice fuori linea (le cui ganasce lasciano decisi segni sulle estremità degli estrusi), e simili;
- una rullatrice a rulli sghembi per la raddrizzatura dei tubi, ovviamente da prevedere nei casi in cui esista una produzione sufficiente a giustificare la macchina stessa;
- un sistema di imballaggio dei profilati (figura 8).

7.2.3. Le matrici da estrusione

I criteri di base per la costruzione di una matrice da estrusione tengono conto dei seguenti elementi fondamentali:

- la matrice è un pezzo meccanico complesso, di materiale particolarmente pregiato e molto resistente, e per ragioni di costo e di lavorabilità deve avere dimensioni quanto più possibile contenute;
- la matrice è sottoposta a sollecitazioni elevate alle quali deve poter validamente opporsi senza cedimenti sotto la spinta della pressa.

Da questi semplici principi deriva la conseguenza che la matrice ha bisogno di un insieme di attrezzature ausiliarie specifiche tali da consentire al manufatto di esplicare le sue funzioni.

Non meno importanti sono altri elementi, che, a seconda del tipo di profilato da estrudere, influenzano in maniera più o meno marcata la forma della matrice.

Tenendo conto di tutto questo, si possono dividere le matrici da estrusione nelle seguenti tre categorie fondamentali:

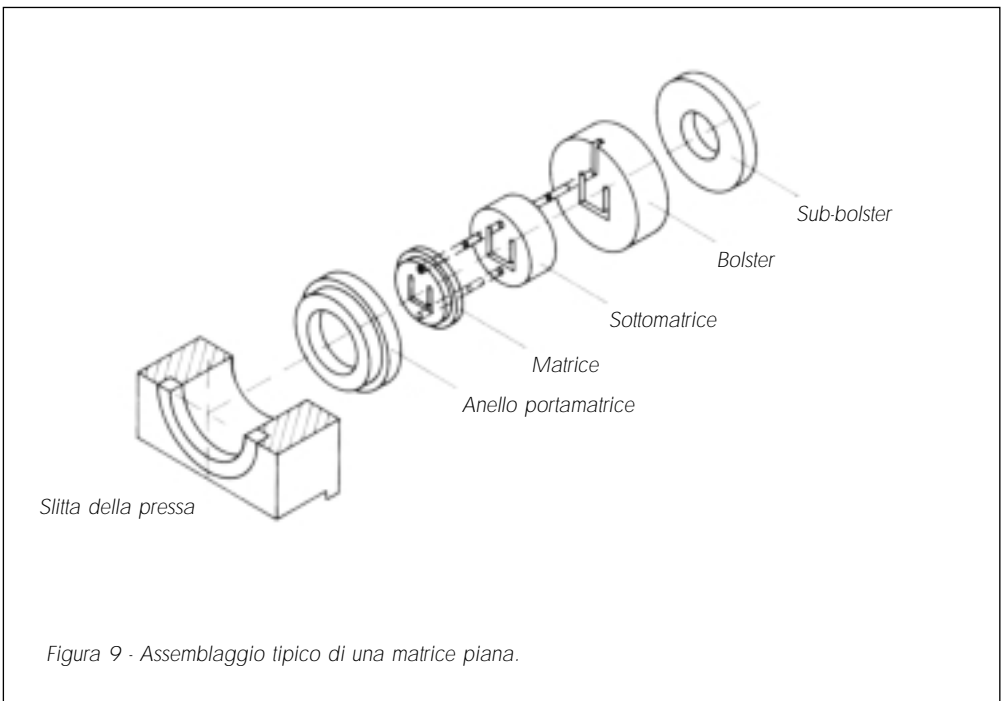
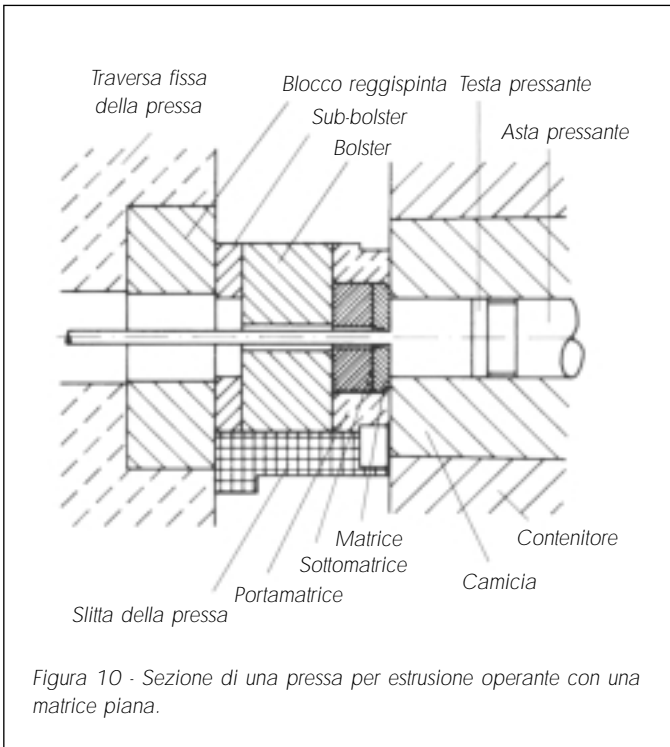
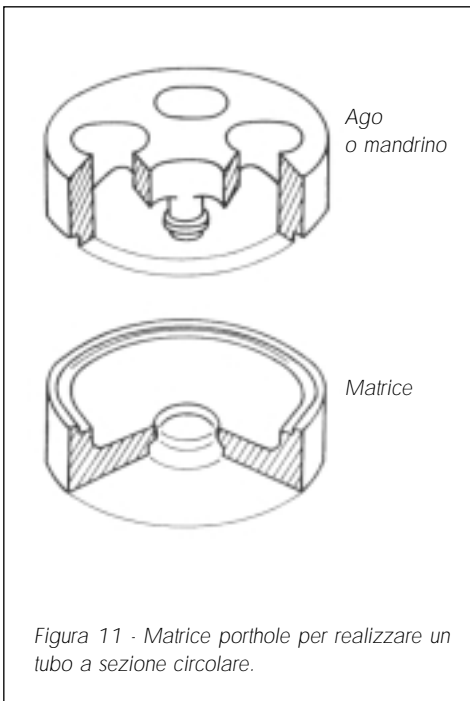


Figura 9 - Assemblaggio tipico di una matrice piana.

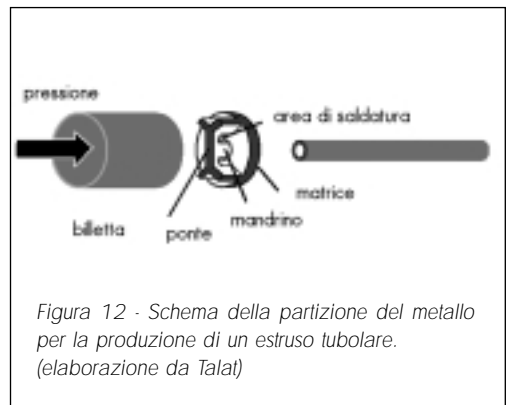


- matrici piane: sono chiamate così le matrici utilizzate per l'estrusione dei profilati aperti. Nella figura 9 è rappresentato l'assemblaggio tipico di una matrice di questo genere: un portamatrice amplia le dimensioni dell'attrezzatura, per consentirne l'inserimento nella slitta, una sottomatrice ha funzione di primo sostegno con una fenditura ad apertura di poco superiore a quella della matrice, una serie di anelli (bolsters) completa infine il sostegno riempiendo lo spazio disponibile nella slitta.

L'insieme di questi elementi (matrice, sottomatrice, portamatrice, bolsters) va a costituire il cosiddetto pacco dell'attrezzatura di estrusione (figura 10);



- matrici per profilati cavi porthole. Il problema è quello di ottenere il foro, e lo schema di figura 11 indica come possa venir risolto, nel caso semplice di un tubo a sezione circolare: una matrice riproduce il contorno esterno del profilato, un ago o mandrino quello interno; il mandrino viene strettamente calzato sulla matrice; sotto la spinta dell'asta pressante, il



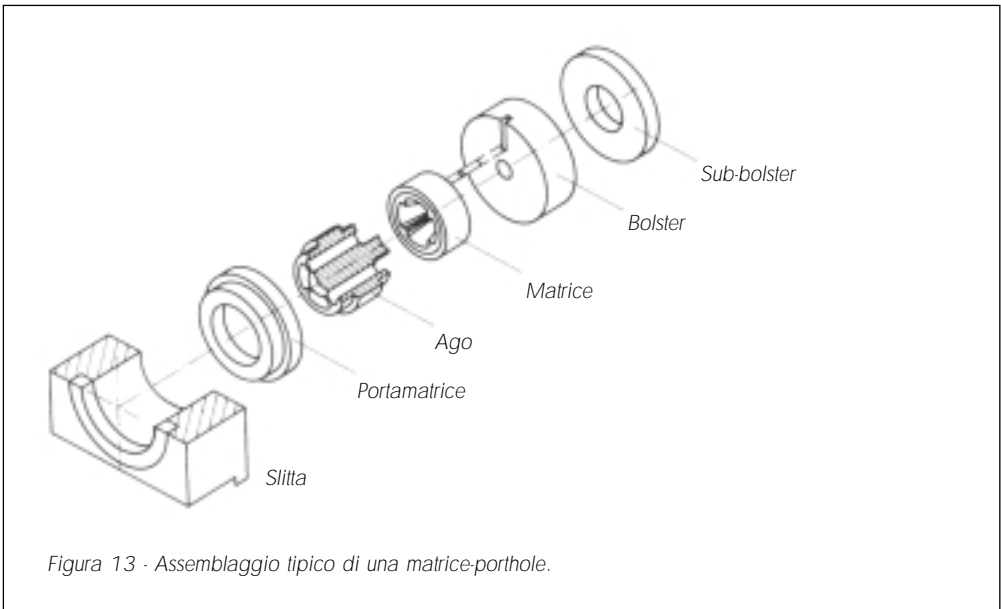


Figura 13 - Assemblaggio tipico di una matrice-porthole.

metallo della billetta si suddivide in tanti filoni corrispondenti alle aperture del mandrino (fori di alimentazione) come mostrato nella figura 12; per l'azione delle fortissime pressioni in gioco, i quattro filoni di metallo tornano a saldarsi nella camera interna generata dall'unione di ago e matrice, estrudendosi infine attraverso lo spazio libero fra il labbro dell'ago e quello della matrice, sotto forma di un unico profilato cavo. La figura 13 mostra l'assemblaggio tipico di una matrice porthole;

- matrici per profilati cavi *spider* (figure 14 e 15).

La parola inglese *spider* significa ragno ed il termine in questo caso deriva dall'andamento a zampa di ragno dei sostegni dell'ago.

Questo tipo di attrezzatura presenta la stessa utilizzazione delle matrici porthole, con la differenza che l'ago, dal punto di vista dei sostegni, è completamente aperto; ago e matrice sono inoltre iscritti in una superficie conica e ciò comporta la necessità di un portamatrice a sede interna conica.

La tecnologia avanzata tende a ricorrere sempre più spesso alle matrici tipo *spider*, sia perché la forma aperta dell'ago facilita la lavorazione e quindi diminuisce

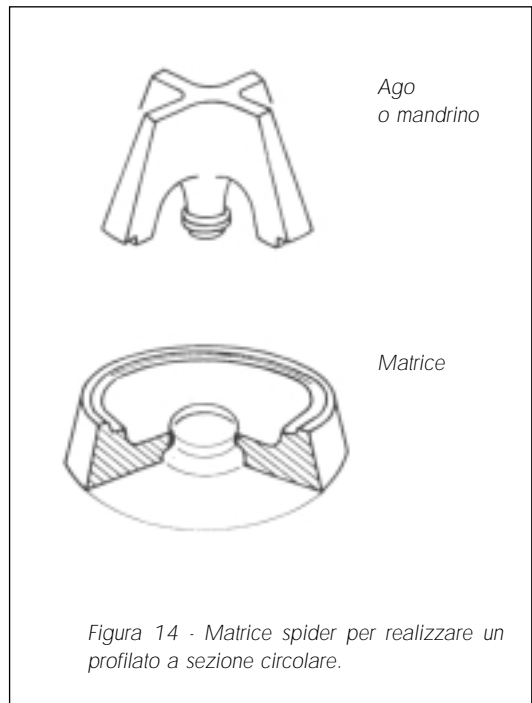


Figura 14 - Matrice spider per realizzare un profilato a sezione circolare.

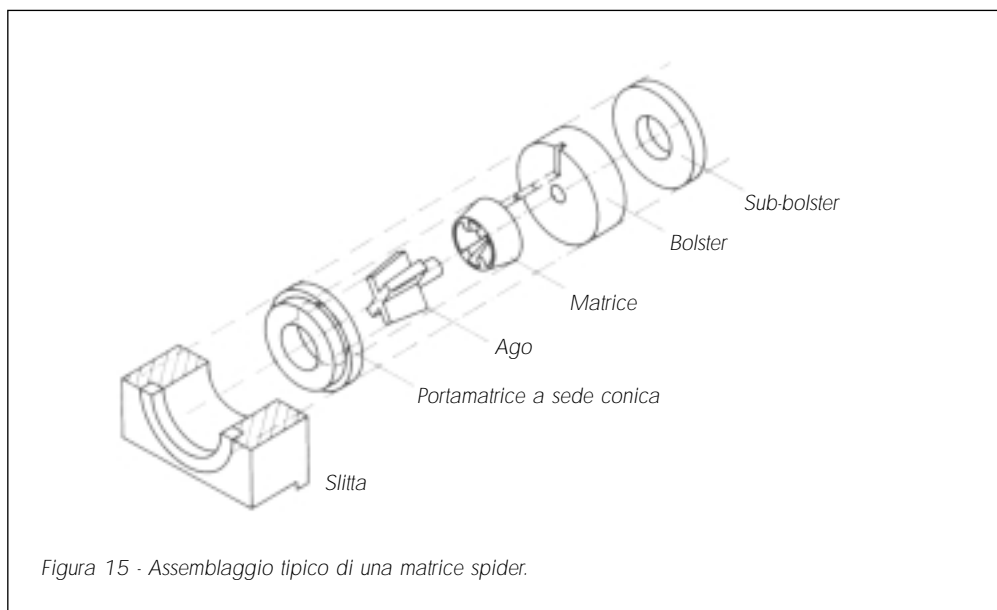


Figura 15 - Assemblaggio tipico di una matrice spider.

i costi, sia perché questa attrezzatura consente una maggior velocità di estrusione.

Le matrici tipo spider presentano per tecnica costruttiva una opposizione relativamente debole alle spinte derivanti dal flusso del metallo in estrusione, per cui vengono preferite per estrusi di forma piuttosto raccolta e simmetrica. D'altro canto, il porthole è certamente più resistente e si presta quindi meglio per forme asimmetriche e particolarmente disperse; bisogna comunque ricordare che questo tipo di matrice si caratterizza per la superficie frontale dell'ago contrapposta al flusso del metallo piuttosto ampia, per cui è, in linea di principio, meno resistente alla spinta del metallo in estrusione.

È evidente che ogni sistema presenta vantaggi e limiti; starà all'esperienza ed alla sensibilità del progettista la scelta dell'uno e dell'altro tipo di matrice per profilati cavi, tenendo conto della tipologia dell'estruso, della lega, dei fattori di durata e costo.

In merito ai profilati cavi vi è da fare un'ultima osservazione: abbiamo visto che in una matrice adatta allo scopo, porthole o spider, il metallo in estrusione si deve dividere in più filoni per tornare poi a saldarsi prima di generare l'estruso; non tutte le leghe sono in grado di saldarsi correttamente dopo la suddivisione, e ciò vale specialmente per le leghe delle classi 2000 e 7000.

In questi casi si deve ricorrere all'uso del foratore (punto 7.2.1.), che per la produzione di tubolari non comporta alcuna suddivisione del metallo in estrusione.

Quando si usa l'apparato foratore di solito la billetta è preventivamente forata; infatti la foratura alla pressa potrebbe portare a deviazioni della spina e comunque potrebbe produrre, specialmente lavorando con leghe dure, una superficie del foro irregolare e slabbrata, con la conseguenza di un aspetto scadente della superficie interna del profilato. Se è vero che l'estrusione con il foratore risolve dei problemi, va però tenuto conto che anche questa tecnica ha dei limiti, ed in particolare è indicata solo per sezioni semplici, simmetriche e molto raccolte; l'asimmetria della forma condurrebbe a forti spinte asimmetriche contro la spina, che risulterebbe sensibilmente inflessa, con conseguente comparsa di inammissibili scentrature o addirittura con rottura della spina stessa.

Come si è detto, la matrice è il cuore del processo di estrusione: la pressa più sofisticata non sareb-

be in grado di dare prodotti validi senza matrici appropriate, ed è per questo motivo che i criteri di progettazione ed i metodi di costruzione delle matrici rappresentano i settori dove si sono maggiormente focalizzati gli sforzi di miglioramento dell'intero processo.

Non si dovrà però dimenticare che, nonostante gli sforzi ed i miglioramenti, l'estrusione è una tecnica di formatura a caldo, con tutti i limiti che il processo comporta e primo fra tutti quello di non consentire tolleranze eccessivamente ristrette su superfici di lavorazione meccanica.

7.2.4. Criteri generali per la scelta degli estrusi

Classificazione degli estrusi

È difficile proporre una classificazione semplice ed univoca dei profili estrusi, anche solo in base a considerazioni geometriche, a causa della molteplicità di forme ottenibili. Dal punto di vista tipologico, si possono comunque suddividere gli estrusi in:

profili a sezione piena (figura 16); profili a sezione chiusa, o cavi (figura 17); profili con cavità aperte, o semicavi (figura 18).

Nell'esempio di classificazione riportato in tabella 1, i profili a sezione chiusa sono ulterior-

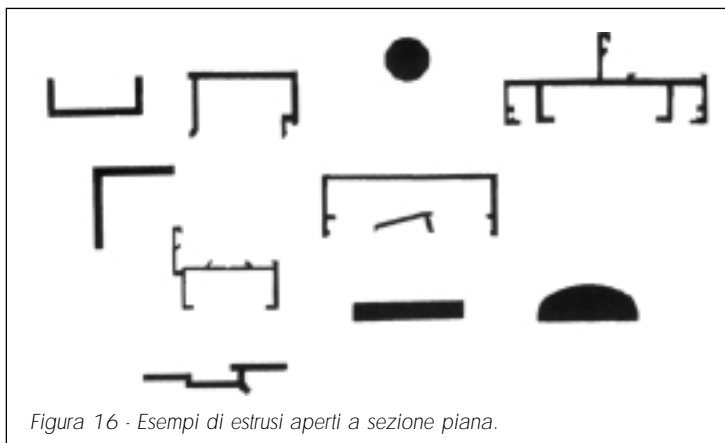


Figura 16 - Esempi di estrusi aperti a sezione piena.

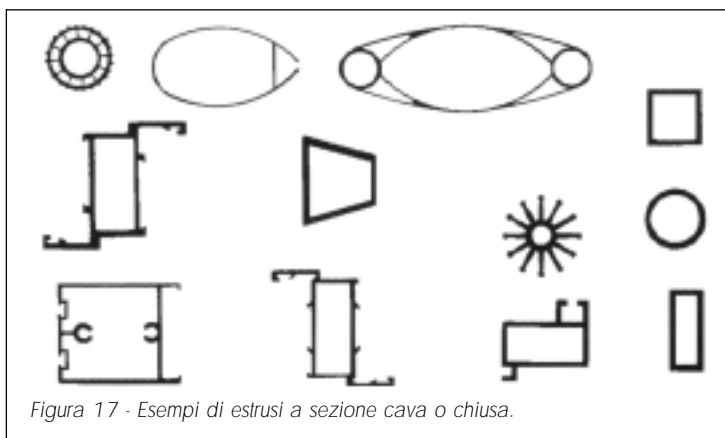


Figura 17 - Esempi di estrusi a sezione cava o chiusa.

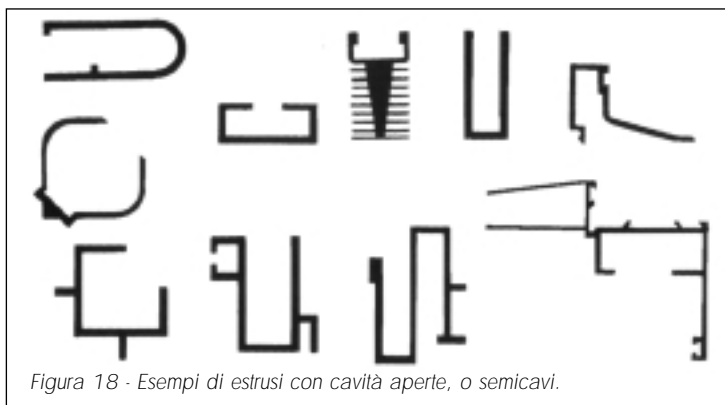


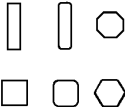
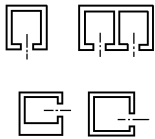


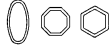


Figura 18 - Esempi di estrusi con cavità aperte, o semicavi.

Tabella 1 • Classificazione tipologica degli estrusi di alluminio

Profilato estruso:		ogni sagoma che non sia un tondo, una barra, un tubo.
Profilato estruso a sezione piena:		ogni sagoma che non comprenda parzialmente o totalmente zone cave.
Tondo pieno:		profilo a sezione piena avente una sezione retta circolare e con diametro non inferiore a 10 mm. Al di sotto di questo valore si deve parlare di filo.
Barra		profilo a sezione piena avente una sezione simmetrica quadrata o rettangolare, a spigoli vivi oppure arrotondati, o di forma esagonale ed ottagonale regolare; la sezione retta non deve essere inferiore a 10 mm.
Profilato semicavo:		sagoma caratterizzata da una sezione retta comprendente cavità aperte, ove il rapporto tra l'area della cavità stessa ed il quadrato della sua apertura sia maggiore dei valori riportati nella tabella di classificazione dei profilati semicavi per ogni tipo di lega e di classe, come definito nei punti seguenti: classe A - sagoma caratterizzata da un massimo di due cavità, con distribuzione dell'area cava e spessore del metallo che la definisce simmetrica rispetto alla zona centrale della cavità; classe B - sagoma caratterizzata da una distribuzione delle cave e degli spessori di parete diversi da quelli della classe precedente.
Profilato cavo:		sagoma caratterizzata da una sezione retta che racchiude completamente una cavità; classe 1 - sagoma con una cava di forma circolare avente un diametro superiore a 25 mm e con distribuzione dei pesi omogenea rispetto ad uno o più assi di simmetria. classe 2 - sagoma cava avente una forma diversa da quelle descritte al punto precedente, con diametro del cerchio circoscritto non superiore a 125 mm e con una sola cavità di area non inferiore a 0,280 cm ² . classe 3 - ogni sagoma cava di forma diversa da quelle descritte ai punti 1 e 2.
Tubo estruso:		sagoma cava avente una sezione retta circolare, quadrata, rettangolare, esagonale, ottagonale, ellittica, con spigoli vivi oppure arrotondati, e con spessori di parete costanti, eccetto nelle zone di spigolo.
Tubo trafilato:		sagoma tubolare che acquisisce la dimensione finale attraverso una operazione di trafilatura in grado di assicurare più strette tolleranze dimensionali e più elevate caratteristiche meccaniche.

Ampiezza della cava in cm	CLASSE A		CLASSE B	
	Leghe di gruppo A	Leghe di gruppo B	Leghe di gruppo A	Leghe di gruppo B
	RAPPORTI			
0,10-0,16	2	1,5	2	1
0,17-0,31	3	2	2,5	1,5
0,32-0,63	3,5	2,5	3	2
0,64-1,26	4	3	3,5	2,5
1,27-2,53	4	3,5	3,5	2,5
2,54-5,07	3,5	3	3	2
5,08 e oltre	3	2,5	3	2

Leghe di gruppo A: 1050-1100-1350-3003-5454-6060-6063-6061
 Leghe di gruppo B: 2011-2014-2024-5083-5086-6066-7001-7075-7178