

MEETING SUL TITANIO

Organizzato dalla Ginatta

4 Novembre 1985

Sala Giulio Cesare

Torino Esposizioni

GTT

GINATTA TORINO TITANIUM

I N D I C E
(testi registrati)

- Dott. U. Ginatta (EMG)
Saluto introduttivo Pag. 4

- Ing. M.V. Ginatta (EMG)
"Perché questo incontro" Pag. 6

- Ing. E. Campo (FIAT Aviazione)
"Il titanio nei motori aeronautici" Pag. 11

- Ing. C. Prato (Cofermetal)
"Le applicazioni del titanio in galvanica" Pag. 24

- Dott. M. Donato (CEE, DG XIII, Ricerca)
"Interesse della Comunità Europea" Pag. 26

- Sig. A. Cappelletti (Sytco)
"Mercato e applicazioni del titanio in Europa" Pag. 29

- Mr. S. Seagle (RMI)
"Metallurgia, tecnologie avanzate e
applicazioni innovative del titanio" Pag. 37

- Prof. M. Maja (Politecnico di Torino)
"Corrosione e ossidazione anodica del titanio" Pag. 76

- Sig. G. Lualdi (LIMA, LIMA LTO, TTF, SEIPI)
"15 anni di esperienze nelle lavorazioni e
applicazioni industriali del titanio" Pag. 81

- Dott. E. Olzi (CNR - Milano)
"Esperienze del CNR nella metallurgia del
titanio. Superconduttività" Pag. 88

- Ing. Casagrande (Registro Italiano Navale -
Genova)
"Il titanio nelle applicazioni navali" Pag. 102

- Ing. G. Orsello (EMG)
"La produzione elettrolitica del titanio" Pag. 107

Dott. U. Ginatta (EMG) - Moderatore -
SALUTO INTRODUTTIVO

Gentili Signore e Signori, quale amministratore della Elettrochimica Marco Ginatta, ho il piacere di aprire questa prima conferenza sul titanio. Parleranno noti esperti dei settori tecnici, scientifici e commerciali, dai quali avremo notizie utilissime per conoscere meglio questo metallo.

Aprirà il Convegno Marco Ginatta della EMG.

Successivamente, poiché l'Ing. Bellini della FBM ha avuto un improvviso impegno, altri relatori accenneranno all'impiego del titanio negli impianti chimici.

L'Ing. Campo della Fiat Aviazione ci parlerà degli impieghi di questo metallo nei motori aeronautici.

L'Ing. Prato della Cofermetal ci illustrerà l'uso del titanio nella galvanica.

Avrò il piacere di presentarVi il Dott. Donato, responsabile delle materie prime della Direzione Generale 12° della CEE, che molto gentilmente ha accettato di parlarci dell'interesse della Comunità al nostro lavoro di sviluppo della metallurgia estrattiva del titanio in Italia.

Vi sarà l'intervento del Sig. Cappelletti della Società Sytco; è veramente un piacere ascoltarlo perchè la sua esperienza commerciale nella vendita del titanio è vastissima.

Seguirà un coffee break di un quarto d'ora, e poi parlerà Mr. Stanley Seagle, Vice Presidente della RMI americana, e massimo esperto della metallurgia fisica del titanio e delle applicazioni critiche ed innovative.

Avremo poi il piacere di ascoltare il Professor Maja del Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica del Politecnico di Torino, docente di "Chimica- Fisica" e di "corrosione e protezione dei materiali metallici", esperto del comportamento dei metalli in ambienti ostili.

Il Prof. Maja metterà in evidenza i motivi per cui il titanio non dà problemi in ambienti che per altri metalli sono proibitivi.

In seguito relazionerà il Sig. Lualdi della società LIMA che da quindici anni lavora il titanio.

Il Dott. Olzi del Consiglio Nazionale della Ricerca, Laboratori di Milano parlerà delle "Esperienze del CNR nella metallurgia del titanio riguardo alla superconduttività".

L'Ing. Casagrande del Registro Navale di Genova ci parlerà del titanio nelle applicazioni navali.

Infine un intervento che fa particolarmente piacere, l'Ing. Orsello, responsabile del "Programma Titanio" della Elettrochimica Marco Ginatta, ci illustrerà alcuni aspetti del nostro impianto per la produzione di titanio, che oltre ad essere il secondo in Europa è il primo impianto che produce titanio elettrolitico.

Infine si aprirà un dibattito.

Nel pomeriggio la discussione potrà riprendere e sarà inoltre possibile visitare lo stand della EMG, dove sono esposti alcuni manufatti di titanio.

Ing. M.V. Ginatta (EMG)

"PERCHE' QUESTO INCONTRO"

Buongiorno a tutti.

Solo due parole prima di iniziare la presentazione delle relazioni sulla metallurgia e gli usi del titanio per inquadrare l'obiettivo del nostro incontro di oggi.

Vorrei riallacciarmi al valido discorso pronunciato dal Ministro Zanone, sabato scorso, per l'inaugurazione del Salone delle Nuove Tecnologie e dell'Innovazione, e cioè che tutti noi stiamo costruendo l'officina del futuro, che è già in atto grazie al contributo di ognuno e alle grandi possibilità che il presente ci offre.

Il nostro lavoro potrà essere molto significativo se insieme potremo avviare l'uso comune di questo materiale dalle caratteristiche così moderne.

Come avete visto dal programma, avremo il piacere di ascoltare operatori ed esperti che ci illustreranno alcuni settori di impiego del titanio e delle sue leghe. Ci troviamo in una situazione particolarmente favorevole perché esiste una grande quantità di dati e informazioni di alta qualità, disponibili agli utilizzatori industriali, forniti dai settori aerospaziali e chimici.

E' proprio il settore aerospaziale, in particolare, che ha stimolato e trainato tutto il lavoro di base applicativo; quindi sta a ciascuno di noi, adesso, applicare questi risultati nella nostra specifica attività.

Questo è il significato principale dell'incontro di questa mattina: contribuire a diffondere informazioni utili ai nuovi utilizzatori e sottolineare le eccellenti caratteristiche del titanio e delle sue leghe oltre ogni dubbio o diffidenza del passato.

Come ascolteremo fra poco, sono molte le leghe correntemente disponibili, generiche o progettate appositamente per alcune esigenze e specifiche applicazioni.

I nostri colleghi metallurgisti fisici ci dicono che vi sono molte altre applicazioni in corso di preparazione per soddisfare esigenze di clienti sempre più diversi.

E' importante sottolineare che per alcuni usi non esistono altri materiali adeguati, quindi il titanio non viene a spiazzare altri metalli o leghe. A questo proposito ringraziamo sinceramente il sostegno che la stampa ha voluto cortesemente darci per questa manifestazione; lungi però da noi l'idea di fare concorrenza all'acciaio.

Altra certezza che è importante confermare è la lavorabilità del grezzo alla macchina.

Sono molti gli operatori che hanno acquisito completa esperienza nelle lavorazioni di questo materiale e che affermano che la cura richiesta non è superiore a quella usata per altri materiali di qualità. Infatti, con il livello tecnologico raggiunto per le macchine utensili, si ottengono prodotti di elevate caratteristiche senza procedure speciali. Nessun problema di riparazioni o modifiche dei particolari perché le saldature si fanno con le normali macchine TIG e MIG.

Per quanto riguarda l'approvvigionamento, è bene ricordare che il minerale da cui si estrae il titanio è presente in quasi tutte le nazioni della terra, compresa l'Italia. Inoltre non vi è alcuna limitazione di carattere politico per la disponibilità: basti pensare che il titanio è il quarto metallo, per abbondanza, sulla crosta terrestre, dopo l'alluminio, il ferro e il magnesio.

Riguardo alle consegne, per la maggior parte dei semilavorati di dimensioni usuali per l'industria vi è disponibilità dall'estero.

Per il metallo grezzo, l'Elettrochimica ha il primo impianto dell'Europa Continentale e fra breve ne costruirà un secondo più grande che garantirà la fonte nazionale del metallo, per circa metà del consumo attuale. Per questo motivo abbiamo pensato che, dopo numerosi e molto importanti congressi a carattere scientifico e applicativo sul titanio, fosse appropriato dare all'incontro di questa mattina un'impronta industriale e commerciale.

L'argomento più difficile ed importante rimane, dunque, il prezzo. Riteniamo però che il costo dovrebbe essere discusso per ultimo negli studi di fattibilità per i nuovi utilizzi del materiale, e in relazione alle sue caratteristiche. Infatti nella valutazione economica si deve considerare che il titanio è molto leggero, dura a lungo, non richiede manutenzione, non si infragilisce alle basse temperature, non è magnetico, resiste alla corrosione in maniera formidabile, consente di produrre prodotti particolarmente puri negli impianti che lo utilizzano. Un altro aspetto da valutare è il riciclo dei rottami, argomento che l'EMG ha curato anche se non è stato incluso nel programma di oggi per limitazione di tempo disponibile. Per noi è importante però confermare che i sistemi di riciclaggio sono a punto, contribuiscono ad abbassare il prezzo del titanio e ad assicurarne la disponibilità per applicazioni che non richiedono specifiche particolarmente limitative.

Vorrei rapidamente elencare alcuni usi industriali attuali del titanio, per una visione più ampia d'insieme:

- scambiatori di calore;
- dissalatori di acqua di mare;
- impianti petroliferi;
- impianti chimici;
- impianti elettrochimici;
- energia geotermica;
- impianti di desolforazione fumi;
- impianti per l'industria alimentare;
- costruzioni navali e marine;
- costruzioni automobilistiche.

E' necessario dire che vi sono settori che paiono particolarmente trascurati nonostante le caratteristiche del titanio, anche estetiche, facciano facilmente prevedere applicazioni significative; ad esempio: l'edilizia, l'architettura, l'allevamento di pesce pregiato, la vinificazione, la concia del cuoio, l'utensileria da lavoro e altri settori ancora.

Con tutto il rispetto per gli operatori presenti in sala e sul mercato, essi possono essere divisi in due categorie di agenti commerciali. Una di queste categorie ha prevalente attività commerciale, gli operatori sono concentrati sui settori già sviluppati con clienti già acquisiti. L'altra categoria ha, invece, attività tecnica e offre informazioni a nuovi clienti in settori non ancora sviluppati.

Poiché la prima categoria è attualmente ben rappresentata, è stato rilevato che vi è una insufficiente presenza di operatori nella seconda categoria; abbiamo quindi ritenuto utile portare il nostro contributo alla cura di clienti potenziali, non ancora raggiunti dalle informazioni tecniche.

In questo incontro, dunque, vogliamo stimolare gli operatori dell'industria a utilizzare con profitto il titanio per tutte quelle applicazioni in cui è particolarmente adatto.

Adesso darei il via alle relazioni dei nostri ospiti specializzati.

Ing. E. Campo (FIAT Aviazione)

"IL TITANIO NEI MOTORI AERONAUTICI"

Le leghe di titanio presentano una proprietà molto importante soprattutto per chi opera nel settore aeronautico: l'elevata resistenza unitaria o specifica, ovvero l'alto rapporto tra resistenza a rottura e densità. Proprietà che risulta, se limitiamo il confronto al campo dei materiali metallici, la più elevata nel range di temperatura compreso tra 200 e 500°C.

Rispetto alle leghe di titanio, a temperature inferiori, solo le leghe di alluminio presentano caratteristiche analoghe o leggermente superiori; mentre, a temperature maggiori di 500°C, le superleghe, hanno un comportamento migliore.

Questa elevata resistenza ha favorito quindi un largo impiego delle leghe di titanio nell'industria aeronautica. Infatti si può dire che circa il 70% delle leghe di titanio trova impiego proprio nel settore aeronautico.

Di questa quantità la maggior parte è impiegata nella costruzione del motore, i cui componenti richiedono lavorazioni e caratteristiche molto più differenziate tra loro che non le parti del velivolo. Per il velivolo, infatti, le leghe di titanio sono principalmente impiegate sotto forma di lamiera.

L'industria aeronautica ha avuto un ruolo chiave nello sviluppo del titanio ed è possibile tracciare storie parallele tra sviluppo del motore e sviluppo delle leghe di titanio.

Un particolare curioso è legato alle aspettative che inizialmente furono riposte sul titanio. Infatti, nell'immediato dopoguerra, quando si incominciò a sfruttare commercialmente il processo Kroll, si pensò di utilizzare le leghe di titanio nelle parti più calde del motore, avendo il titanio una temperatura di fusione superiore a quella del ferro, del cobalto e del nichel.

In realtà, questo non accadde poiché le sopradette aspettative, non erano basate su una sufficiente conoscenza del comportamento dei materiali metallici allo scorrimento a caldo.

Attualmente, comunque, in un moderno turbo getto le leghe di titanio costituiscono circa il 30% del peso totale.

Nella fig. 1 sono state riportate, in modo approssimato, le temperature che si hanno nelle varie parti di un turbogetto ed i materiali utilizzati nella loro costruzione.

Nelle zone più calde, combustore e turbina si devono utilizzare le superleghe a base nichel e cobalto; invece il titanio, unitamente all'acciaio e all'alluminio, trova impiego nella costruzione del compressore. Esistono tuttavia altre applicazioni per il titanio, ad esempio, nella realizzazione dell'ugello di scarico.



FIAT AVIAZIONE

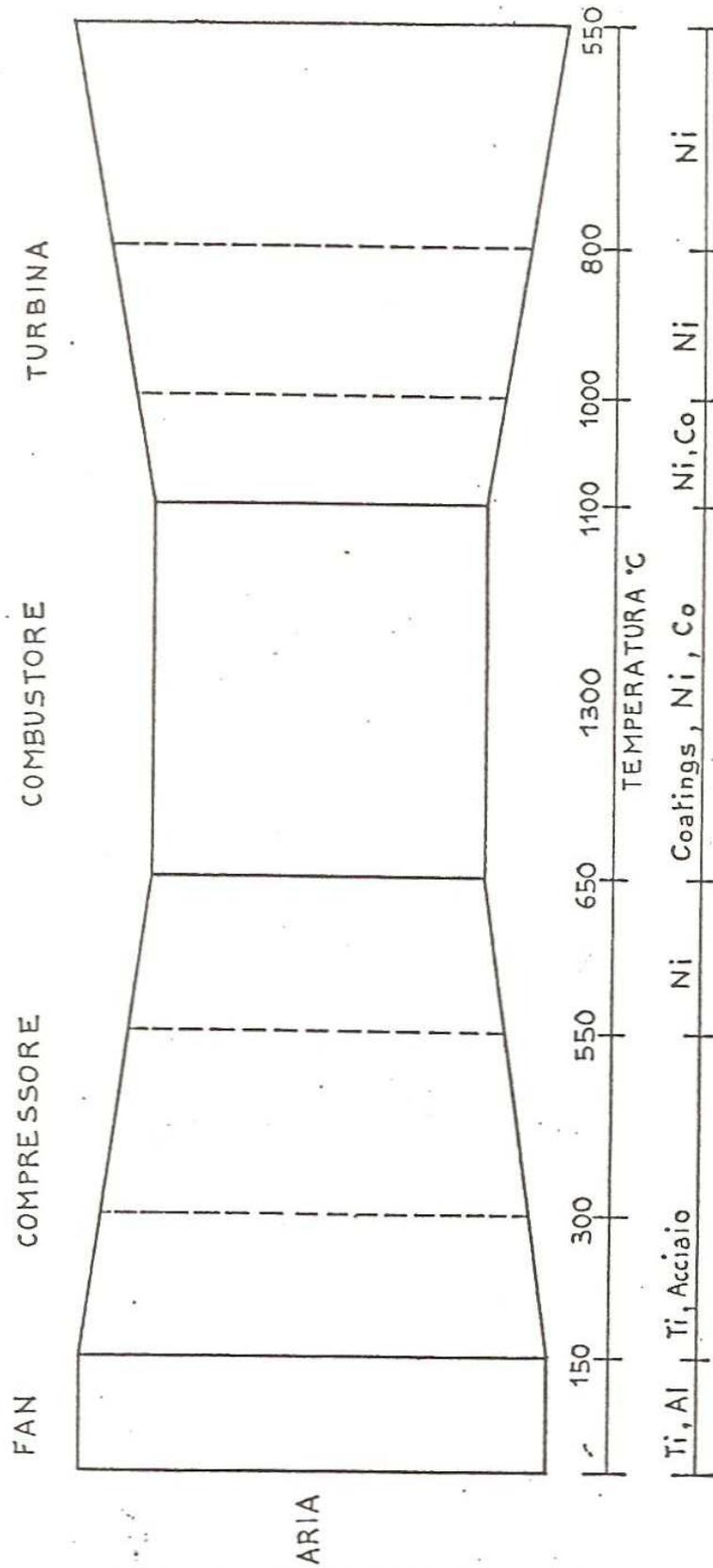


Fig. 1: Temperature relative alle varie zone di un turbogetto e materiali utilizzati

L'uso del titanio è avvenuto a partire dalla seconda metà degli anni '50, principalmente in sostituzione delle leghe di alluminio. L'alluminio, inizialmente adoperato in grande quantità, è risultato inadatto alla costruzione del compressore in seguito all'aumentare dei rapporti di compressione dei motori e quindi in seguito all'innalzarsi della temperatura d'uscita dal compressore.

Infatti, mentre con un rapporto di compressione di 5 a 1 si aveva una temperatura d'uscita di circa 200°C, attualmente, avendo rapporti di compressione superiori a 20, come ad esempio nel motore RB 199 per il Tornado prodotto dalla Turbo Union, la temperatura in uscita è di oltre 500°C.

Nella tabella seguente sono indicate le principali leghe di titanio, con relativa composizione chimica, utilizzate nell'industria aeronautica.

Le leghe sono raggruppate in tipo alfa, alfa-beta e quasi alfa in funzione della loro microstruttura. Infatti come ben noto il titanio ha due forme allotropiche: la forma alfa con struttura esagonale compatta stabile fino ad 880°C e la forma beta cubica corpicentrata stabile da 880°C fino alla temperatura di fusione. Gli elementi di lega possono essere suddivisi in due categorie, quelli che allargano il campo di stabilità della fase alfa e quelli che allargano il campo di stabilità della fase beta. Tra gli elementi di lega presenti in questa tabella, l'alluminio allarga il campo della fase alfa, mentre gli altri e soprattutto vanadio e molibdeno, allargano i campi di esistenza della fase beta.



FIAT AVIAZIONE

TITANIUM ALLOYS

| Alloy | Nominal chemical composition (weight percent) | | | | | | | | | | | |
|--|---|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|---|
| | Ti | Cu | Mn | Al | Sn | V | Mo | Si | Zr | Cr | Nb | |
| <i>(i) α alloys</i> | | | | | | | | | | | | |
| IMI 130 | | | | | | | | | | | | |
| IMI 160 | | | | | | | | | | | | |
| IMI 230 | Bal | 2.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Ti 5-2.5 | Bal | — | — | 5.0 | 2.5 | — | — | — | — | — | — | — |
| <i>(ii) $\alpha + \beta$ alloys</i> | | | | | | | | | | | | |
| IMI 315 | Bal | — | 2.0 | 2.0 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Ti 6-4 | Bal | — | — | 6.0 | — | 4.0 | — | — | — | — | — | — |
| IMI 550 | Bal | — | — | 4.0 | 2.0 | — | 4.0 | 0.5 | — | — | — | — |
| Ti 6-2-4-6 | Bal | — | — | 6.0 | 2.0 | — | 6.0 | — | 4.0 | — | — | — |
| Ti 17 | Bal | — | — | 5.0 | 2.0 | — | 4.0 | — | 2.0 | 4.0 | — | — |
| <i>(iii) Near α alloys</i> | | | | | | | | | | | | |
| Ti 8-1-1 | Bal | — | — | 8.0 | — | 1.0 | 1.0 | — | — | — | — | — |
| IMI 679 | Bal | — | — | 2.2 | 11.0 | — | 1.0 | 0.2 | 5.0 | — | — | — |
| Ti 6-2-4-2 | Bal | — | — | 6.0 | 2.0 | — | 2.0 | — | 4.0 | — | — | — |
| IMI 685 | Bal | — | — | 6.0 | — | — | 0.5 | 0.2 | 5.0 | — | — | — |
| IMI 829 | Bal | — | — | 5.5 | 3.5 | — | 0.25 | 0.3 | 3.0 | — | 1.0 | — |

Tabella: Principali leghe di titanio utilizzate nell'industria aeronautica

La microstruttura delle leghe ne influenza le proprietà. Le leghe monofase, cioè le leghe alfa, presentano una buona saldabilità e duttilità; le leghe bifasiche sono anch'esse saldabili, ma questa operazione riduce parzialmente la duttilità. Nonostante ciò le leghe bifasiche sono le più applicate poiché hanno una maggiore resistenza.

In tabella non sono riportate le leghe di tipo beta perché queste non hanno il grosso rilievo commerciale delle leghe alfa+beta.

Segue una sommaria descrizione degli impieghi e delle caratteristiche delle leghe elencate in tabella.

L'IMI 130 e l'IMI 160 sono impiegate per la costruzione di parti poco sollecitate, quindi non sono veri e propri materiali strutturali.

L'IMI 230 viene utilizzata per la costruzione di flange e dei casings di molti motori ad esempio per RB 199 (Velivolo Tornado), Olympus (Concord), Spey che equipaggerà l'AMX. Questa lega presenta una buona lavorabilità a freddo ed è l'unica a contenere rame e può essere rafforzata proprio per precipitazione di composti di titanio e rame.

La lega Ti 5-2-5 è adatta per applicazioni analoghe alle precedenti a temperature decisamente più alte.

Si considerano ora le leghe con struttura bifasica. L'IMI 315 presenta una buona resistenza fino a 300°C ed è utilizzata per le palette del compressore; la lega Ti 6-4 è senz'altro la lega più importante e più diffusa, presenta discreta resistenza e buona forgiabilità.

E' adatta per i dischi dei compressori, per le pale dei fan, è utilizzata nell'RB 211 oltre che nel CF6 della General Electric.

L'IMI 550 è la risposta europea all'americana Ti 6-4 presenta però una migliore resistenza al creep, conferita soprattutto dalla presenza del silicio.

La lega Ti 6-2-4-6 ha una migliore resistenza meccanica rispetto alle precedenti, ma non allo scorrimento a caldo, pertanto è utilizzata nella costruzione dei fan.

Infine, della classe alfa+beta, il "Titanio 17" è una lega sviluppata dalla General Electric per ottenere valori di tenacità, in termini di K_{IC} , elevati e una buona resistenza alla propagazione delle cricche, ed è adatta ad essere utilizzata per grossi fucinati.

Ci sono poi le leghe quasi monofasiche. La lega Ti 8-1-1, è molto indicata per i compressori per il suo alto modulo elastico, pertanto permette una buona resistenza alla fatica, ad alto numero di cicli, indotta dalle vibrazioni legate alla velocità di rotazione.

Infine, l'IMI 679, il Ti 6-2-4-2, l'IMI 685, l'IMI 829 presentano elevate proprietà allo scorrimento a caldo, proprietà indispensabile considerato l'aumento delle temperature di uscita dal compressore.

La fig. 2 riporta la resistenza allo scorrimento in funzione della temperatura; le curve si riferiscono alla sollecitazione in funzione della temperatura capace di dare una deformazione dello 0,1% in 100 ore. Si vede che l'IMI 679, il Ti 6-2-4-2, l'IMI 685, l'IMI 829 hanno elevata resistenza allo scorrimento a caldo.

Tuttavia, nella scelta di una lega non può essere considerata soltanto la resistenza allo scorrimento a caldo, ma bisogna considerare le proprietà complessive del materiale. Ad esempio, le leghe citate come l'IMI 685 che hanno eccellenti proprietà allo scorrimento a caldo, non hanno elevate caratteristiche per quanto riguarda il comportamento a fatica oligociclica (fig. 3).



FIAT AVIAZIONE

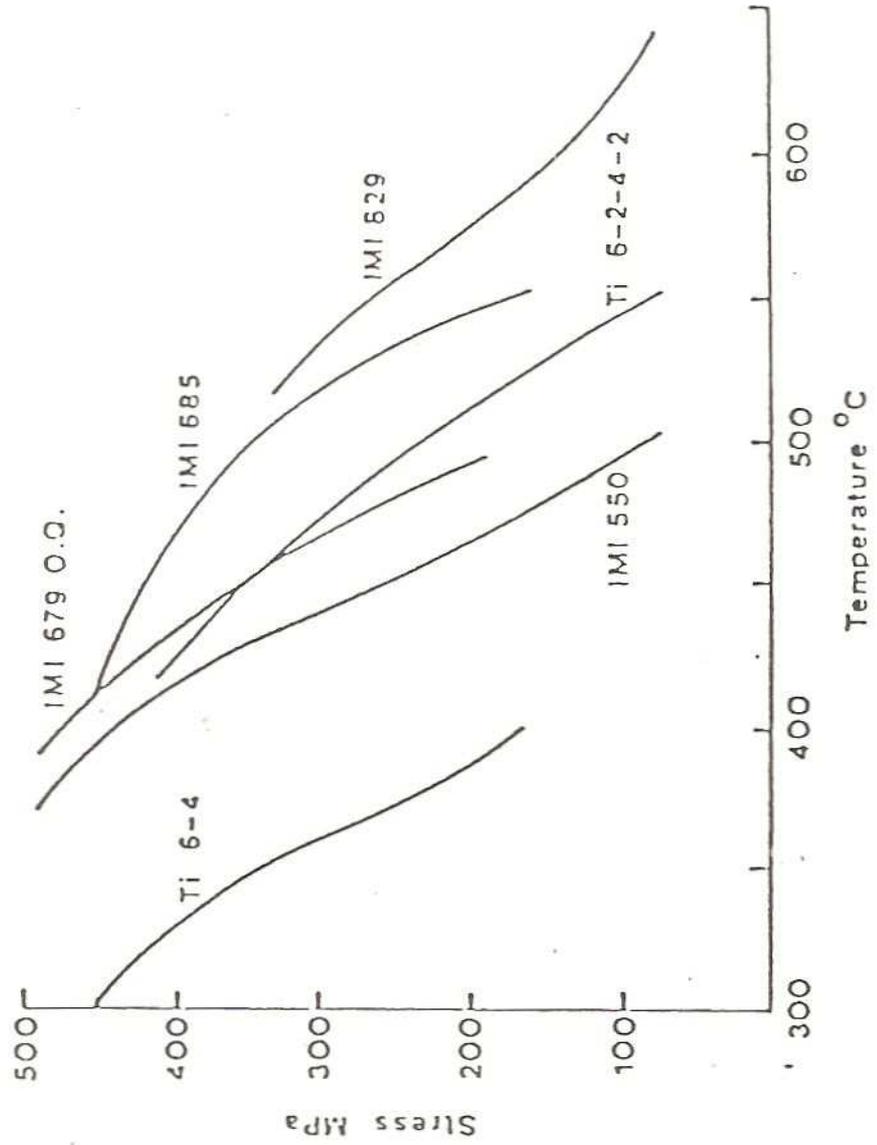


Fig. 2: Resistenza allo scorrimento in funzione della temperatura



FIAT AVIAZIONE

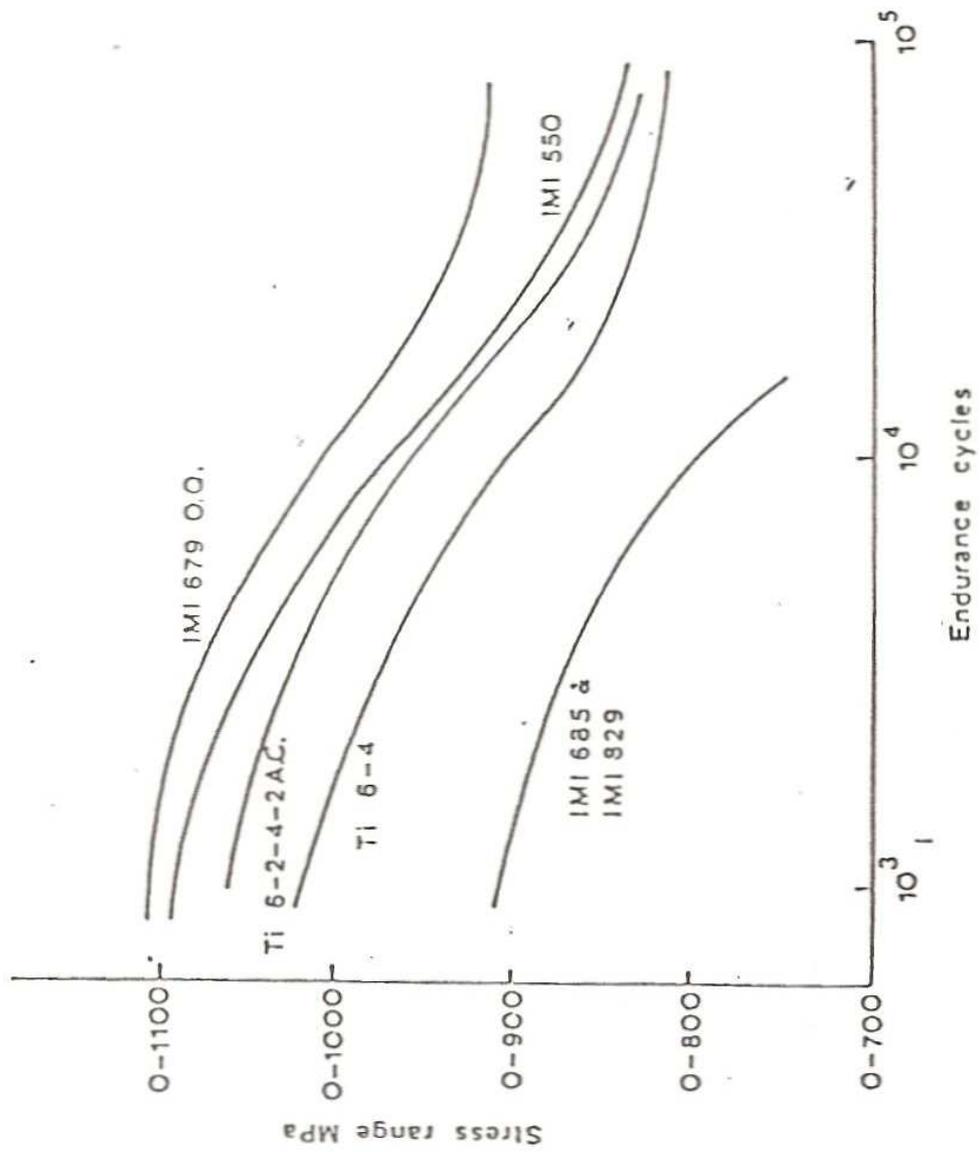


Fig. 3: Resistenza a fatica oligociclica

Se invece si considera la fatica in termini di propagazione delle cricche, come prevede la normativa basata sul concetto del "damage tolerance" , allora l'IMI 685 e l'IMI 829 presentano buone proprietà (fig. 4).

Attualmente il titanio è impiegato nei motori aeronautici in una quantità pari a circa il 30%; ma si prevede che in futuro sarà sempre più ampia l'applicazione dei compositi a matrice plastica che oggi sono utilizzati per circa il 5%. L'impiego di questi materiali potrebbe avvenire in parte a spese del titanio.

Tuttavia per il titanio si hanno dei miglioramenti legati ai processi di formatura, di fucinatura, alla tecnologia della metallurgia delle polveri, ed allo sviluppo della produzione di getti. Un'altro importante sviluppo che avrà la metallurgia del titanio, è quello dei compositi con matrice metallica di titanio.

Le fibre adatte a rafforzare il titanio sono il carburo di silicio e soprattutto il boro, anche se quest'ultimo presenta dei problemi di compatibilità formando con il titanio dei boruri.



FIAT AVIAZIONE

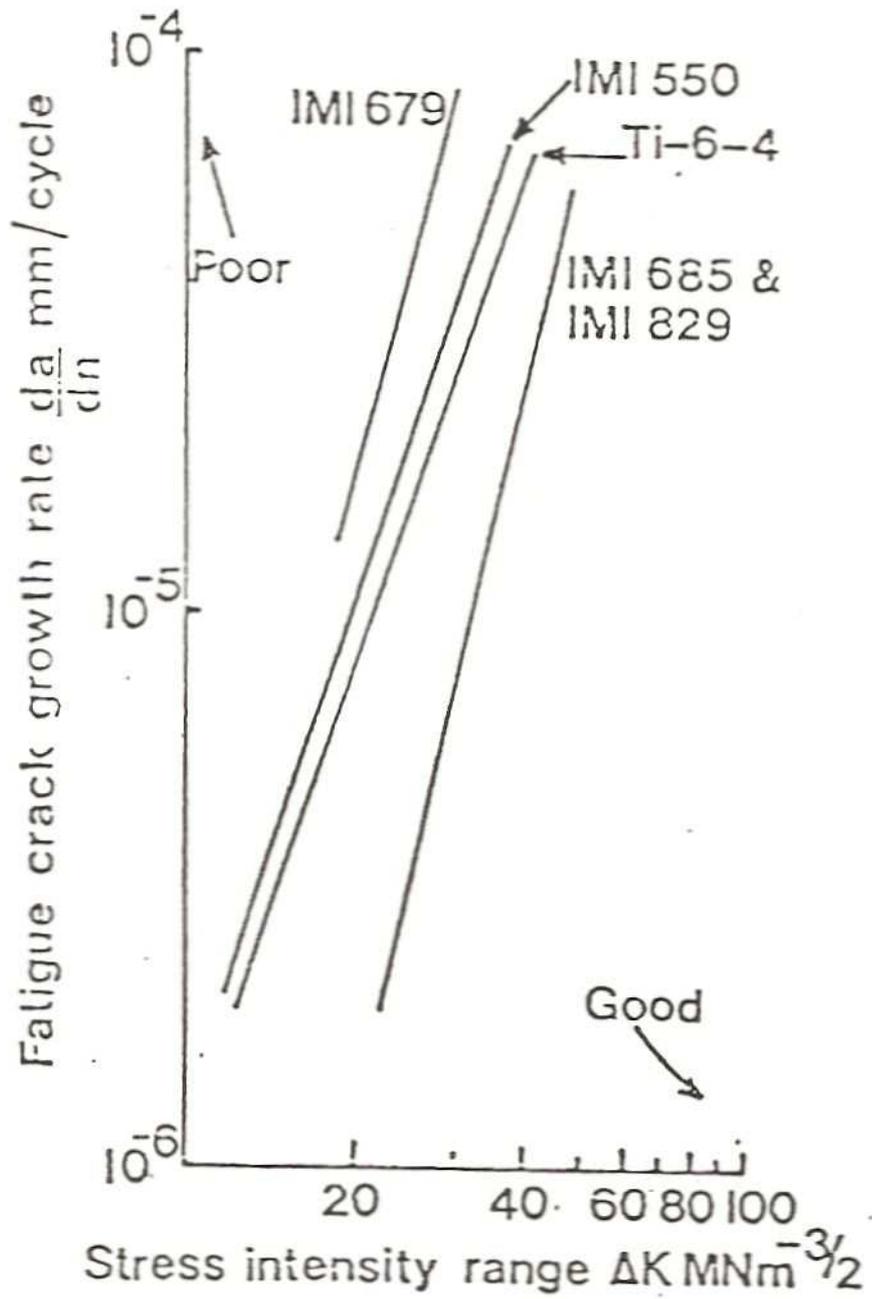


Fig. 4: Resistenza a fatica in termini di propagazione delle cricche

L'interesse principale per il futuro è l'applicazione del titanio alle alte temperature (fig. 5), ad esempio nella costruzione di dischi e palette delle turbine con composti intermetallici a base titanio e alluminio. Con questi materiali si possono raggiungere temperature di 650°C e 850°C, a seconda del tipo di composto intermetallico, potendo così realizzare dei motori molto più leggeri di quelli attuali e quindi con ancora un più alto rapporto spinta/peso. Queste leghe, dunque, sono interessanti per l'impiego alle alte temperature, e per il valore del coefficiente di espansione termica, che si colloca tra quello del nichel e quello del titanio; hanno però uno svantaggio: una bassa tenacità.

Tuttavia è noto che questa tenacità è senz'altro superiore a quella che attualmente gli sviluppi consentiti nel campo dei ceramici fanno presupporre, (con i ceramici si hanno valori di K_{IC} inferiore a 10 MPaVm).

In quest' ultima ottica quindi le prospettive del titanio per applicazioni turbinistiche appaiono molto interessanti.

Si può concludere osservando che i motivi che hanno guidato lo sviluppo del titanio nel primo dopoguerra, sono nuovamente attuali e il titanio può essere considerato ancora una volta candidato per applicazioni ad alte temperature.



FIAT AVIAZIONE

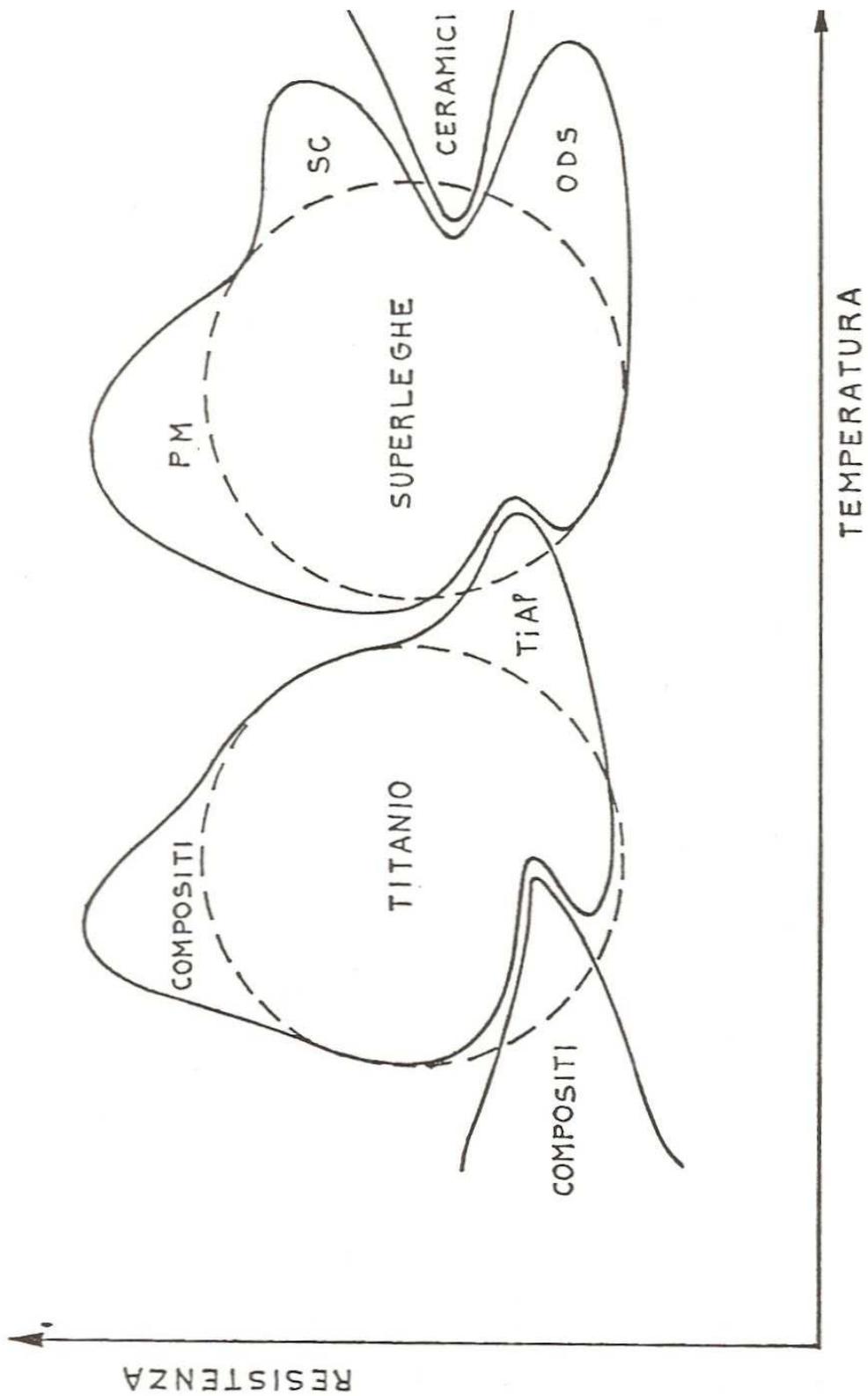


Fig. 5: Comportamento di alcuni materiali al variare della temperatura

Ing. C. Prato (Cofermetal)

"LE APPLICAZIONE DEL TITANIO IN GALVANICA"

La mia breve relazione sarà meno tecnica perché nel campo delle applicazioni galvaniche il titanio non presenta, almeno apparentemente, i problemi tecnici che può presentare in altri campi. Nella galvanica viene sfruttata la principale e la più conosciuta caratteristica del titanio: la resistenza alla corrosione.

Tuttavia paradossalmente, l'applicazione del titanio in questo settore ha trovato, proprio nelle proprietà del metallo alcune limitazioni che ne hanno reso l'introduzione più lenta e più difficile di quanto l'eccellente resistenza alla corrosione avrebbe potuto far prevedere.

Uno dei limiti notevoli all'introduzione del titanio è costituito dall'elevata resistività che può creare problemi tecnici; un altro limite è l'elevato costo del semilavorato di titanio. Il costo del semilavorato non è valutabile direttamente in base al peso del materiale poiché su di esso influiscono altri fattori, ad esempio, i tempi di approvvigionamento e lo stoccaggio.

Per questo motivo, i costi delle attrezzature utilizzate in galvanica sono considerati piuttosto onerosi e ciò ha reso difficile l'affermazione di aziende produttrici, soprattutto in Europa, di fronte a resistenze del mercato. Ultimamente molte cose sono cambiate e c'è un interesse dell'industria galvanica italiana ed europea verso il titanio, interesse che è certamente destinato ad aumentare ancora.

Il titanio nella galvanica si utilizza principalmente nella costruzione di attrezzature per contenere e sostenere i metalli destinati allo scambio galvanico, ad esempio il nichel e rame.

La Cofermetal è nata come azienda distributrice di metalli nel campo della galvanica e in seguito ha rivolto la sua attenzione al titanio verificando la validità delle attrezzature in titanio nella galvanica.

Nonostante si siano avute notevoli difficoltà all'introduzione di nuove tecnologie e nuovi materiali, il titanio oggi è sicuramente affermato nel campo della galvanica.

Ma anche in questo settore vi sono ancora ricerche da approfondire e tecnologie da sviluppare proprio per la carenza di informazioni e dati aggiornati sul titanio e per la scarsa assistenza tecnica fornita agli utilizzatori.

Quindi le industrie produttrici dovranno impegnarsi in questo senso, considerando il titanio con tutti i suoi vantaggi e ricordando che le aziende che operano nel settore dei metalli non ferrosi possono avere problemi ben maggiori nell'utilizzo e nella commercializzazione di altri metalli che non con il titanio.

Con questo intervento ho voluto esprimere la fiducia che in futuro i produttori di titanio si impegnino maggiormente ad aiutare gli utilizzatori e le aziende trade-union fra produzione e consumo, affinché questi svolgano al meglio il loro lavoro e perché si affermi ancora di più il titanio nel campo della galvanica e in tutti gli altri settori.

La Cofermetal, infatti, non si limita solo alla galvanica, ma produce attrezzature di titanio per vari impieghi industriali in cui non solo la resistenza alla corrosione ma anche le caratteristiche meccaniche hanno un'importanza decisiva nella progettazione.

Concludo confermando questa fiducia nel futuro e ringraziando l'Elettrochimica Marco Ginatta per tutto ciò che vorrà fare in Italia per le applicazioni del titanio.

Dott. M. Donato (CEE, DG XII, Ricerca)

"INTERESSE DELLA COMUNITA' EUROPEA"

Vorrei cominciare per ringraziare gli organizzatori di questo incontro che hanno invitato la Commissione della Comunità Europea e personalmente il Dott. Ginatta per darmi la possibilità di presentarVi delle informazioni per quanto riguarda l'interesse della Comunità nel settore delle materie prime includendo quindi anche il titanio.

Il titanio ci interessa perché è un metallo strategico e critico per l'industria comunitaria, perché dipendiamo fortemente dall'esterno per i nostri approvvigionamenti, perché le nuove tecnologie, come vi è stato già detto, cercheranno di utilizzare sempre di più questo metallo, quindi nel programma di ricerche della Comunità Europea si è voluto inserire questo metallo.

Perché allora un programma di ricerche a livello comunitario?

Uno degli obiettivi del trattato di Roma è quello di aiutare lo sviluppo economico della Comunità, ci sono diversi modi per aiutare questo sviluppo economico, uno di questi modi è la ricerca, mirante soprattutto a quegli obiettivi industriali che possono permettere un rafforzamento della competitività dell'industria nei settori di punta.

Da quanto tempo la Comunità Europea si occupa di ricerche scientifiche nel settore delle materie prime?

L'interesse è nato subito dopo la guerra del Kippur, ci ricordiamo tutti gli alti prezzi che si pagò e si continua a pagare per l'energia, la scarsità di materie prime, la mancanza di cobalto in un certo periodo a causa della crisi dello Zaire e così via di seguito.

La Comunità nel lanciare i programmi di ricerca nel settore delle materie prime non vuole certo dare una risposta definitiva al problema della dipendenza esterna, però vuole essere un catalizzatore d'iniziativa industriali soprattutto in quei settori dove esistono delle possibilità di sviluppo e ridurre così la sua vulnerabilità.

La ricerca che noi finanziamo mira soprattutto alla valorizzazione di quei giacimenti e minerali che si trovano nel sottosuolo della Comunità Europea in primo luogo; ma anche quelli esterni a condizione naturalmente che le società operanti nella Comunità possano trarre profitto. Dire che il nostro programma di ricerca fino adesso abbia affrontato il programma del titanio in modo importante non sarebbe corretto, perché i programmi di ricerca della Comunità furono orientati soprattutto a dare inizialmente una risposta ai problemi immediati; si cercò di aiutare principalmente l'industria e il settore minerario per far fronte a delle situazioni di carenza. Oggi noi vogliamo lanciare un programma di ricerca per migliorare la competitività, per preparare le strutture industriali del domani, e allora è necessario che la Comunità europea abbia un obiettivo diverso, orientato principalmente ai fabbisogni industriali legati ai settori di cui si prevede uno sviluppo tecnologico importante.

Cosa abbiamo nella Comunità Europea per quanto riguarda l'industria del titanio?

Abbiamo delle industrie che producono il metallo, che lo trasformano, che lo utilizzano con le sue leghe, avete sentito già diversi oratori che vi hanno detto l'importanza di questo metallo nei vari settori industriali, settori di punta dove le nostre esportazioni potrebbero giocare un ruolo importantissimo, e già giocano un ruolo importante.

Il contributo delle Comunità in questo programma sarà di circa 100 milioni di ECU, diviso in quattro anni.

L'ECU rappresenta più o meno il valore del dollaro odierno, 1.750 Lit. meno il 5-6%. Naturalmente è un programma di ricerca che non va tutto destinato al titanio ma che si occupa anche di altri metalli, che hanno un carattere strategico e critico per la Comunità. Parlo del cobalto, del cromo, del manganese, dei metalli preziosi, il platino che comincia ad essere qualcosa di molto importante visto l'impatto, che potrà avere sul consumo di questo metallo, l'applicazione delle nuove norme anti-polluzione e così via di seguito. Quindi questo programma include delle iniziative a favore principalmente dei metalli strategici e critici per la Comunità.

In particolare ho voluto partecipare con piacere a questo incontro perché nel nostro paese esistono delle possibilità minerarie, che hanno delle caratteristiche piuttosto complesse, esistono nella Comunità delle tecnologie di produzione ed altre più avanzate che stanno nascendo, che cercano di sfondare e la Comunità intende essere al corrente di quello che succede nei paesi membri e quindi in Italia. Ed è per questo che io sono qui ed apporto il mio aiuto personale a questa iniziativa perché gradirei che questo problema del titanio venisse affrontato seriamente a livello nazionale come è affrontato a livello comunitario.

Sig. A. Cappelletti (Sytco)

"MERCATO E APPLICAZIONI DEL TITANIO IN EUROPA"

In base alla scaletta degli interventi predisposta dagli amici della "Elettrochimica Marco Ginatta", il mio compito è di intrattenerVi per una decina di minuti sino alla pausa per il caffè; forse, comprensibilmente, più attesa del mio intervento.

Ritengo doveroso un ringraziamento agli "sponsors" di questo meeting sul titanio e spero che anche in relazione agli sforzi e agli interessi commerciali che la EMG e le altre aziende ed operatori hanno nel settore titanio, questa esperienza che ha riscosso un immediato interesse e l'adesione di tutti noi partecipanti - e non siamo pochi! - possa ripetersi con successo.

Svolgo la mia attività nell'ambito del Gruppo Sytco e come alcuni di Voi, ritengo, passo buona parte della mia giornata acquistando o cercando di acquistare, vendendo, o cercando di vendere, per le più svariate applicazioni titanio metallico dalla spugna ai lingotti, dalle bramme ai vari semilavorati nonché le spugne "off-grade" per additivazione.

Non posso non approfittare dell'occasione che mi viene oggi offerta per non spendere due parole a favore del mio "sponsor", il Gruppo Sytco, che da oltre un decennio, nell'ambito di numerose attività commerciali prevalentemente siderurgiche, cura anche l'importazione di titanio metallico dall'Unione Sovietica e la sua successiva commercializzazione in diversi Paesi europei. Di questa attività sono il responsabile commerciale da circa un quinquennio.

Devo tuttavia aggiungere che trattandosi di titanio di origine sovietica, tale attività non comprende il settore aeronautico se non a livello di sola materia prima, la spugna, che può essere utilizzata con le dovute additivazione per la produzione di lingotti, quindi billette ed altri semilavorati per l'industria aerospaziale, in quanto qualificata per tale applicazione. Per le altre forme di titanio, quindi, si tratta di materiale commercialmente puro per applicazioni industriali, alle quali il meeting odierno vuole dare un particolare contributo. Inoltre l'industria aeronautica è qui ben presente con i rappresentanti dei grossi nomi dell'industria italiana del settore.

Abbiamo ancora tutti, ritengo un buon ricordo della "V Conferenza Internazionale sul titanio" tenutasi a Monaco di Baviera lo scorso anno in settembre, pertanto ho volutamente tralasciato ogni indagine di tipo quantitativo e previsionistico sui consumi di titanio in Europa e nel mondo, che con dovizia ed ampiezza di particolari gli Atti della citata conferenza riportano.

Ritengo che lo scopo di questo meeting ed il miglior auspicio sia stimolare una discussione ed avere risposte ai propri quesiti, vista la presenza di rappresentanti di produttori, tecnici, consumatori anche di grosso calibro nonché commercianti, tutti alle prese con il metallo grigio-argento, simbolo chimico Ti: il titanio.

Spesso parlando con abituali consumatori, o più sovente con potenziali consumatori, alla parola titanio vengono associate varie considerazioni:

- metallo costoso, anzi molto costoso;
- cicli assurdi di "alti e bassi" nei prezzi;

- difficoltà di approvvigionamento con regolarità o nelle forme più indicate ad una particolare applicazione;
- tempi di consegna imprevedibili, dal subito pronto ai sei mesi e più;
- ricerca di una alternativa al Titanio, ovunque praticabile, anche se economicamente non giustificata totalmente ma almeno in termini di economia globale dell'applicazione.

Questa fama, che ho ridotto in poche tipiche frasi, da cosa dipende?

Certamente non dal minerale disponibile, che occupa il nono posto di disponibilità in natura, quindi più reperibile dei metalli, più comuni quali Mn, Cr, Ni, Pb ecc.

Forse, dalla quantità globale in gioco nel mondo, che è stimata come capacità nominale produttiva installata di spugna in ca. 120.000 tonno annue, di cui solo 5.000 in Europa.

Su questa inferiorità di capacità produttiva europea, ritengo che la EMG, grazie al suo nuovo processo elettrolitico per la produzione del titanio ed alle varie iniziative industriali in fase di sviluppo, possa più documentatamente commentare e stimolare una discussione unitamente al delegato della CEE, che mi ha preceduto negli interventi.

La quantità di titanio in gioco è quindi numericamente molto bassa e relega tale metallo, se comparato agli altri, solo al XV posto in termine di volumi di vendita.

Sicuramente, la presenza di domanda di titanio per progetti che ne richiedono ingenti quantità e che, in quanto tali, si presentano solo nell'ambito di un trend economico generale favorevole, può causare cicli di domanda/offerta anomali. Così avvenne nel 1979/1980 un ciclo allora definito "esplosivo", che non ha avuto precedenti in nessun altro metallo in termini di ampiezza del fenomeno: una spugna che da un prezzo intorno ai 10 \$ al kg sale vertiginosamente oltre i 40 \$, per poi crollare intorno ai 4 \$ senza peraltro trovare acquirenti disponibili ad operare oppure eccessi di offerta di metallo e di quantità in stock. Questa situazione si è anche verificata negli anni successivi al 1980 e sino al 1983, e in parte sino ad oggi, dove nonostante la "ripresina" avuta verso la fine del 1983 proseguita poi negli anni successivi, esistono "gaps" notevoli fra capacità produttiva e domanda e conseguentemente bassa utilizzazione degli impianti di produzione in alcuni casi ancora intorno al 50-60%.

In Europa, in particolare, la vulnerabilità a tali squilibri è superiore che in altri mercati. Infatti, con una capacità di spugna nominale installata di solo 5.000 tonn., la capacità di fusione nominale è superiore alle 10.000 tonn/anno; quindi la disponibilità della spugna prevalentemente dal Giappone e dall'Unione Sovietica, ed in misura più limitata dalla Cina, che svolge un ruolo determinante.

La presenza di una sostenuta domanda di titanio nei citati paesi produttori di spugna espone l'industria europea a difficoltà di approvvigionamento nonché a rapide "escalations" nei prezzi.

Inoltre, gli accordi a lungo termine stipulati dai produttori europei con i fornitori giapponesi di spugna - che sono peraltro fortissimi e competitivi produttori di semilavorati di titanio quasi esclusivamente per applicazioni industriali determinanti in termini quantitativi, fatti nell'intento di assicurarsi una affidabile e continua fonte di approvvigionamento, in periodi di recessione, hanno dimostrato come sia possibile "dare con una mano e togliere con l'altra"; ossia sulla carta si poteva ottenere la spugna, ma i prezzi dei semilavorati dal Giappone erano talmente competitivi da favorirne l'ingresso in massa nei mercati europei. Di qui le note vicende delle procedure di "dumping", di cui la CEE si è occupata recentemente.

Per la spugna proveniente dall'Unione Sovietica va rimarcata la non-regolarità delle forniture dettata dalla ciclicità dei consumi domestici, solo compensata in termini commerciali dalla non-affluenza di quantità eccessive di semi lavorati e tali da danneggiare l'industria europea; anzi, tali da favorire solo vivacità sul mercato.

Va anche sottolineato che il "gap" tra produzione di spugna e capacità di fusione si ripete in maniera amplificata sul fabbisogno totale europeo di titanio, che viene stimato superiore alle 20.000 tonn/anno in condizioni di mercato normali. Ancora una volta, quindi, oltre il 50% del mercato viene coperto principalmente da fornitori giapponesi ed americani. A vulnerabilità si aggiunge altra debolezza, in quanto pur in presenza di un dazio, tuttavia abbastanza ridotto, i fornitori non-europei grazie all'integrazione produttiva "spugna-semilavorati" possono fare una più aggressiva politica dei prezzi, e come già accennato in precedenza "con l'altra mano pilotare il prezzo della spugna".

Queste considerazioni hanno maggior valore, se si tiene conto che il mercato europeo è quello che annovera la maggior quota di applicazioni industriali nel titanio con un rapporto pressoché equilibrato fra applicazioni aerospaziali e non, mentre negli Stati Uniti tale rapporto è ridotto a due terzi e un terzo.

Spesso si è parlato di come rendere il titanio una "commodity" e di non considerarlo più un metallo "esotico"; di divulgare sempre più ampie informazioni sugli impieghi di tale metallo affinché una espansione quantitativa ed applicativa, soprattutto nel settore industriale, ne favorisca una maggiore stabilità sul mercato.

Forse questa è la terapia migliore, la soluzione per un più vasto utilizzo e per il contenimento dei cicli citati nell'ambito di livelli accettabili, come avviene già per gli altri metalli.

Non ultimo, si potrebbe prevedere un diverso rapporto, più equilibrato, fra consumi e capacità di produzione in Europa, che contribuisca d'altra parte a favorire e consolidare l'espansione dell'impiego del titanio e a contenere, a livelli accettabili, gli squilibri "domanda-offerta".

Gli "alti e bassi" nei prezzi, visti alla luce delle considerazioni che si possono trarre solo oggi, non sono stati produttivi - soprattutto in termini industriali - da giustificare il loro ripetersi.

Già in precedenza ho accennato al mio operare solamente nel settore del titanio commercialmente puro e quindi solo per applicazioni non aerospaziali, che hanno una quota di consumo rilevante in Europa e di cui si possono tracciare le principali aree d'impiego:

- fabbricazione di apparecchiature per l'industria chimica e petrolchimica, rimarcando il ruolo svolto dall'industria elettrochimica, per la produzione di cloro, che in Italia in particolare ma in tutta Europa costituisce uno dei settori di consumo più costanti e rilevanti in termini quantitativi. In considerazione della tipologia dei semilavorati richiesti per questo settore, ritengo che l'industria europea del titanio sia la più adatta a soddisfarne il fabbisogno, forse è auspicabile una maggiore aggressività commerciale soprattutto nei confronti dei produttori giapponesi, che oltre ad acquisire le commesse per i semilavorati spesso hanno ottenuto, tramite le stesse organizzazioni di vendita, le commesse per le forniture di apparecchiature complete.
- Il settore energetico, prevalentemente legato allo sviluppo delle centrali nucleari, dove il consumo di tubi in titanio è veramente imponente. Tuttavia, il beneficio per l'industria europea è qui limitato, in quanto i tubifici europei sono dipendenti prevalentemente dal Giappone per le forniture di nastri. Spesso, i produttori giapponesi, che godono di una integrazione produttiva, sono i principali fornitori del prodotto finito soprattutto in presenza di ingenti commesse.
In Europa, purtroppo, ad eccezione dell'Inghilterra i produttori continentali non hanno un'integrazione produttiva con i tubifici.

Restano significanti, tuttavia, altri settori quali:

- quello della carta e della cellulosa, soprattutto nell'Europa settentrionale;
- quello dell'industria;
- quello delle protesi e medicale in genere, dove il titanio ha già un rilevante impiego quantitativo e per il quale sono state messe a punto leghe e normative particolari;
- quello navale, in cui non trattandosi nè in Italia nè in Europa di potenti flotte di sottomarini in titanio, molto vi sarebbe da sviluppare per numerose applicazioni non militari già sperimentate;
- quello automobilistico, dove vi è moltissimo da sviluppare, in quanto attualmente l'utilizzo del titanio è pressoché limitato al settore agonistico, mentre vi sono esperienze che hanno dimostrato l'efficacia economica in applicazioni motoristiche e strutturali per autoveicoli con particolari requisiti.

Per ultimo, tutti gli altri settori ora soltanto marginali, ai quali proprio il meeting odierno vuole dare impulso, in quanto potenziali aree di più vaste applicazioni del titanio.

Mr. S. Seagle (RMI - U.S.A.)

"METALLURGIA, TECNOLOGIE AVANZATE E APPLICAZIONI
INNOVATIVE DEL TITANIO"

La relazione seguente è suddivisa in quattro paragrafi ben distinti.

Sarà esaminata la grande disponibilità del titanio sulla crosta terrestre; le eccezionali caratteristiche del titanio, con particolare attenzione a quelle che sono definite le proprietà "chiave" del metallo: basso peso specifico ed elevatissima resistenza alla corrosione.

Inoltre saranno discusse le molteplici applicazioni del titanio, non solo in riferimento al settore aerospaziale, ma a tutte quelle applicazioni che vengono genericamente dette industriali.

Infine si farà accenno alla buona lavorabilità del titanio con esempi di pezzi ottenuti per stampaggio a caldo e a freddo, per fusione e per forgiatura.

"Metallurgy, advanced technologies and innovative applications of titanium"

I will discuss four areas this morning. First I will cover titanium availability; second, I will review properties of titanium, and I will review some of the unique properties of titanium (fig. 1); and third, I will discuss applications of titanium. The main emphasis in applications will be on non-aerospace, or what we call industrial applications. And then, finally, I will show a few examples of titanium products to illustrate to you how easy it is to make titanium components.

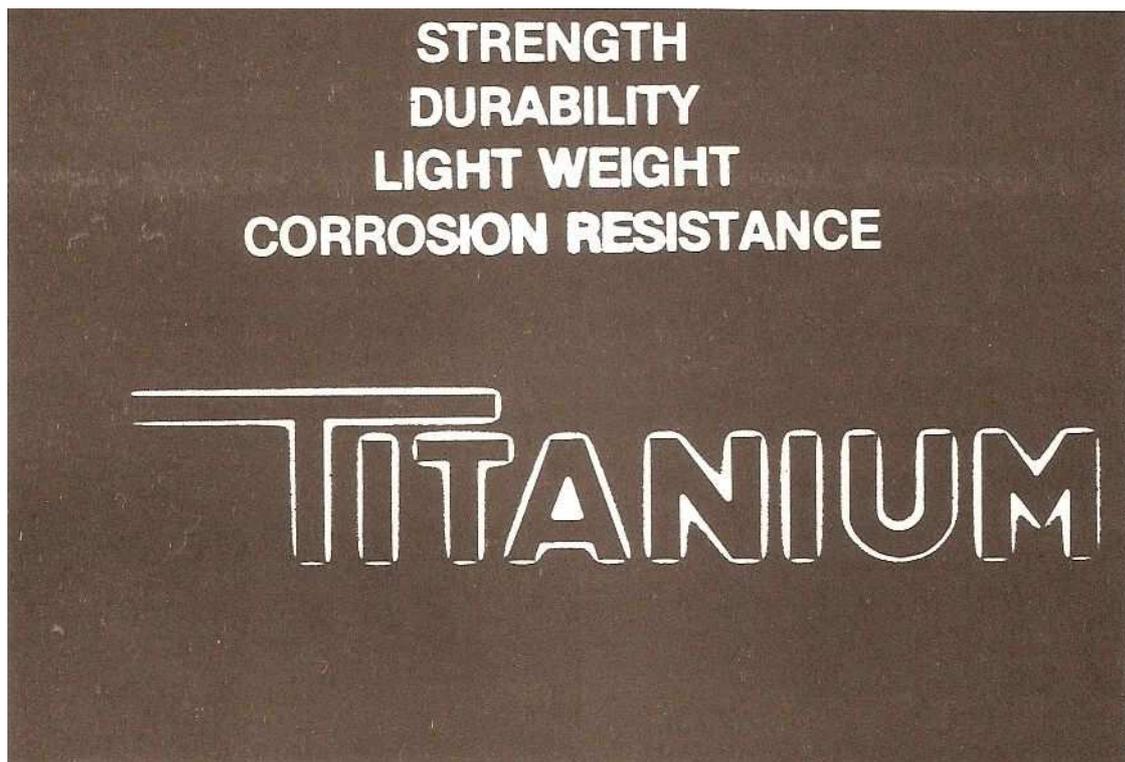


Fig. 1: Unique properties of titanium
(Proprietà fondamentali del titanio)

Availability

Titanium is not a rare element. In fact, you can see in fig. 2, that titanium is the fourth most abundant metal in the earth's crust, following after aluminum, iron, and magnesium.

Titanium is well dispersed throughout the earth, and as you can see in fig. 3 there are workable deposits of titanium ore throughout the globe. Thus, it is not sensitive to political issues or political problems that may exist in the world. So we might ask, if titanium is so abundant, if it is so well dispersed, why is it not used more?

The growth of titanium has been restricted to a certain extent, by the cost of the metal--the cost of winning it from the ore. It is fairly expensive in terms of energy. However, there has been a gradual decrease in the amount of energy. There has also been a rather large increase in the usage of titanium.

Fig. 4, shows the growth of the titanium industry in the United States from about 1950, the very beginning of the industry, to 1984.

The free world consumption of titanium would be about twice the numbers you see here. As you see in the early days in 1950 through 1965, titanium usage was limited to aerospace; in about 1965, significant new applications in the non-aerospace began to occur, and we have been experiencing growth in this non-aerospace area. Much of the remainder of this presentation will be on the growth in this area, plus what the future holds.

Interestingly, if we are to look at titanium on this graph, we can compare it to aluminum.

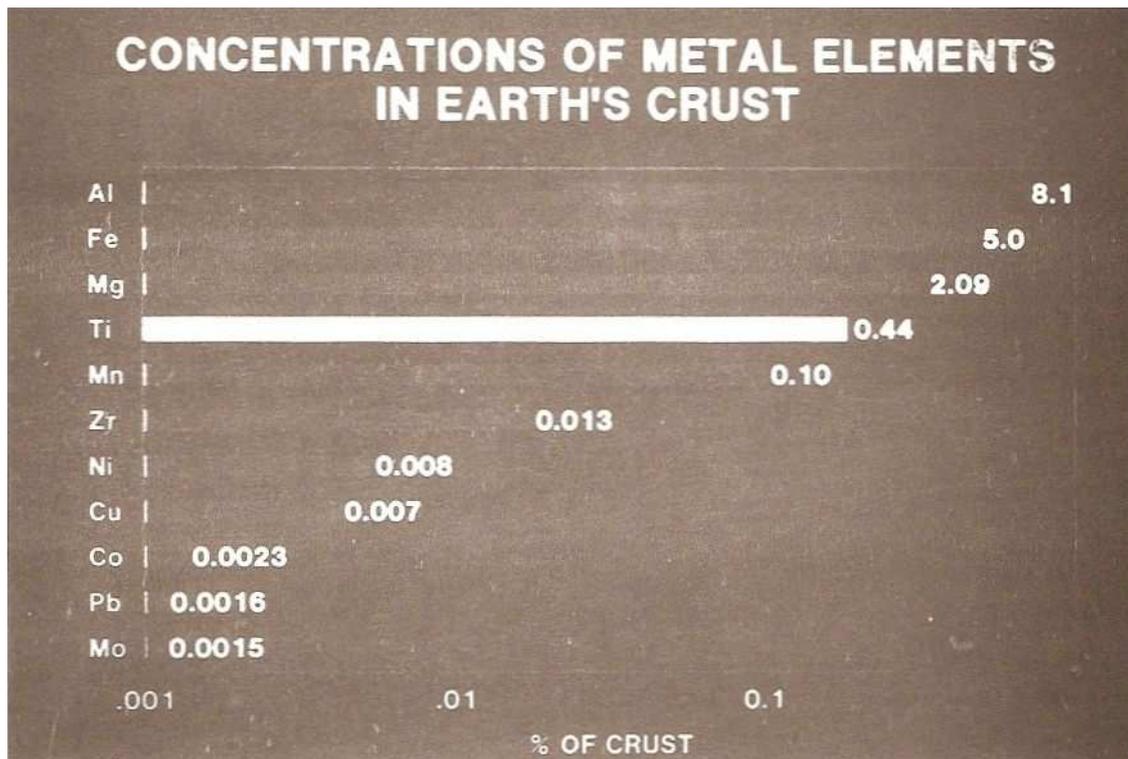


Fig 2: (Concentrazione dei metalli sulla crosta terrestre)



Fig. 3: Titanium - ore deposits
(Giacimenti di titanio)

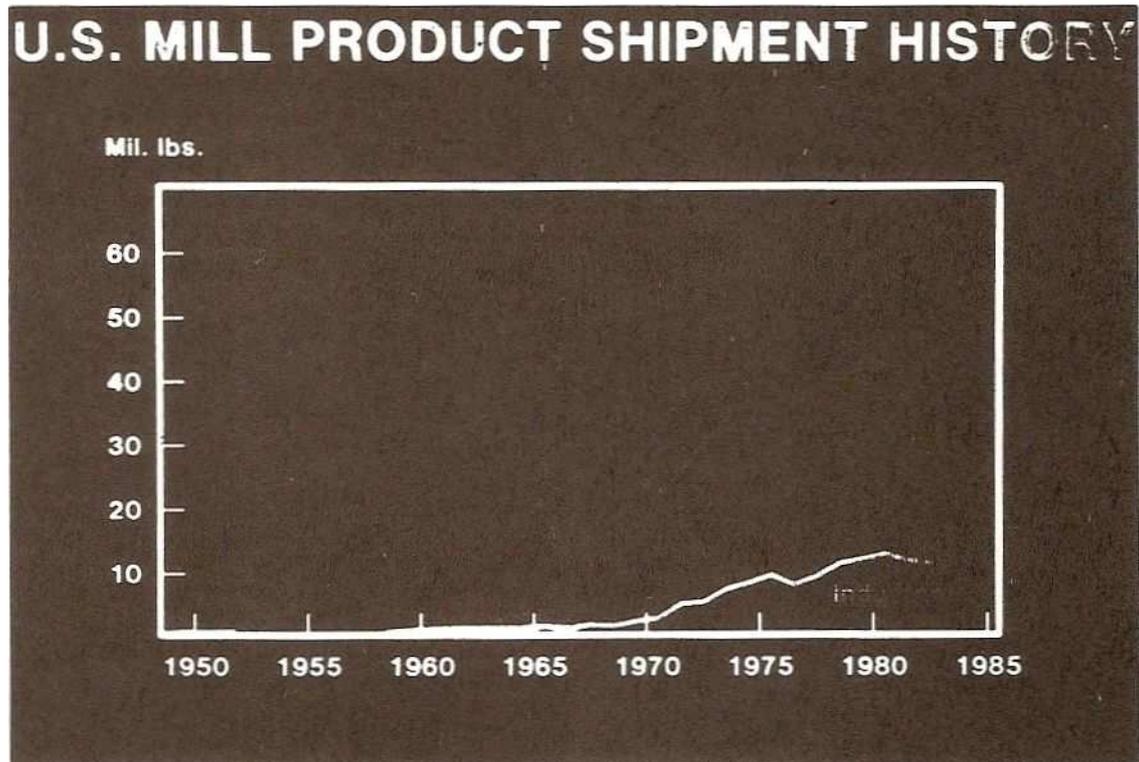


Fig. 4: (Crescita dell'utilizzo del titanio nel settore industriale e aerospaziale in U.S.A.)

We find that today we are at about the same level that aluminum was in 1940. But definitely we feel that it is on a growth curve.

Titanium properties

Now I would like to move to the key important properties of titanium (fig. 5). They center around two characteristics: first of all, corrosion resistance. Titanium has excellent corrosion resistance in all natural media, including chlorides and organics, very resistant to salt water and chloride solutions.

The second main characteristic of titanium is that it has a low density, about one-half that of iron and slightly higher than aluminum.

However, the metal, as you can see, has high strength capabilities, so when you combine the low density with high strength, you have a very efficient engineering material.

Another favorable characteristic of titanium includes its high temperature strength. The gentleman from FIAT Aviazione showed that titanium can be utilized up to 300 or 500 degrees centigrade because of its high temperature strength and its low density.

Other interesting properties that on occasion are very useful in design application include: it has very good ballistic resistance; it has low thermal expansion which is very similar to that of glass and composites, so it is very compatible with those materials; it has a low elastic modulus, which makes it a unique spring material, a very efficient spring material; it has on the corrosion side, good heat transfer; it is very effective in heat exchangers.

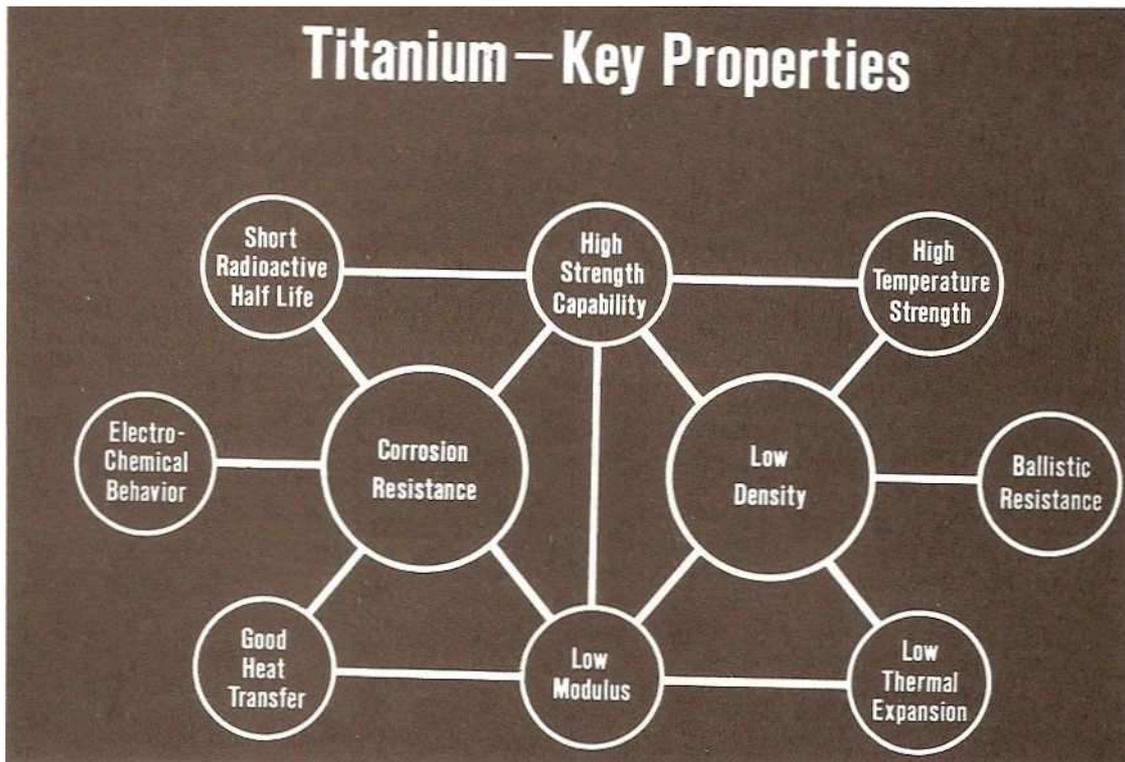


Fig. 5: (Proprietà "peculiarì" del titanio)

Titanium also has some very unique electrochemical characteristic, and I will show you some examples later; it also has a very short radioactive half-life, which can be useful in processing uranium and spent uranium.

The fig. 6 was merely to show you an example of the strength ranges that are capable in titanium. The strength ranges from about 350 megapascals in the low strength alloys up to nearly 3500 megapascals. So Titanium is much like steel. It has very wide strength ranges. Very high strength levels are possible with certain alloys of titanium.

Titanium is used in chloride-type environments that are oxidizing and, more recently, we have developed new alloys that are suitable for reducing, environments, on the left-hand side of the graph (fig. 7). We have developed new alloys for corrosion resistant applications. They have very high strength levels, and now will result in the use of titanium in oil and geothermal uses.

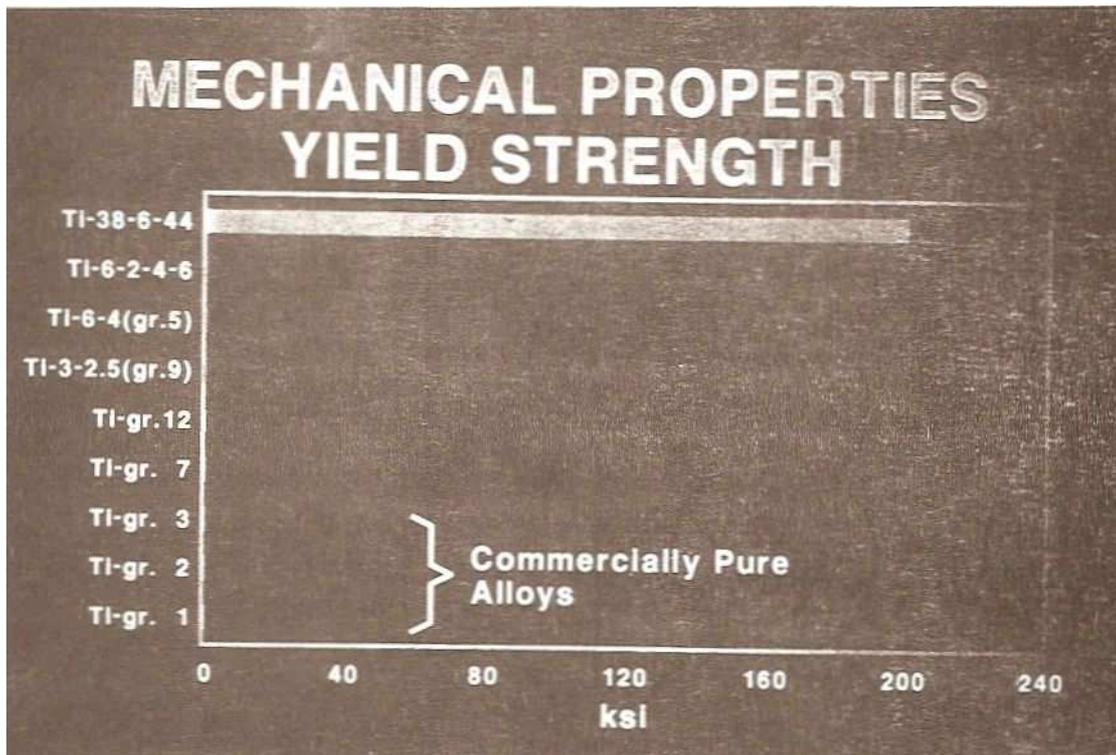


Fig. 6: (Proprietà meccaniche: resistenza allo snervamento)

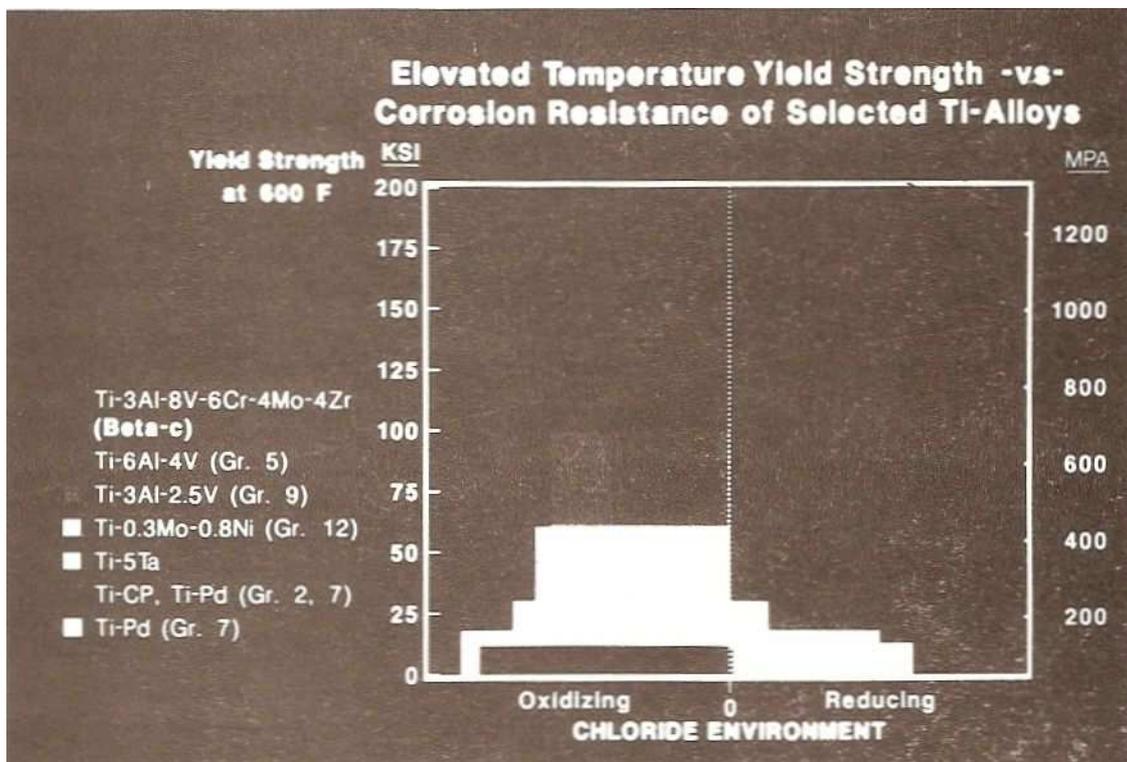


Fig. 7: (Resistenza allo snervamento ad elevate temperature e resistenza alla corrosion di alcune leghe di titanio)

We are making progress in the development of better corrosion resistance and we are also making progress in the development of higher strength alloys.

Application of titanium

I am limiting my remarks on aerospace, but I cannot ignore the subject, because it is one of the largest consumers of titanium.

The jet turbine engine is about one-third by weight in titanium (fig. 8). Titanium is utilized in the construction of the compressor section or the front end of the engine, including compressor blades and compressor discs and various ducting (fig. 9).

Another aerospace application is in airframes. In fig. 10 you see the Airbus: this indicates a typical application in airframes. Very often titanium is used in the section of the airframe where it tends to be hot, and this can be in and around the engine area. It is also sometimes used for structural members, including landing gears, hydraulic tubing, fasteners, and springs (fig. 11).

This is the military side. This happens to be the wing carry-through structure for the Tornado (fig. 12). And this is made out of a titanium alloy, very critical to the performance of military aircraft.

Now I want to change from aerospace engines and airframes, and discuss industrial applications; but first, let me present a historical view of the Titanium industrial market.

The first usage of titanium in the industrial world was around 1965. And we have shown in (fig. 13) the various markets that utilize titanium, by percentage.

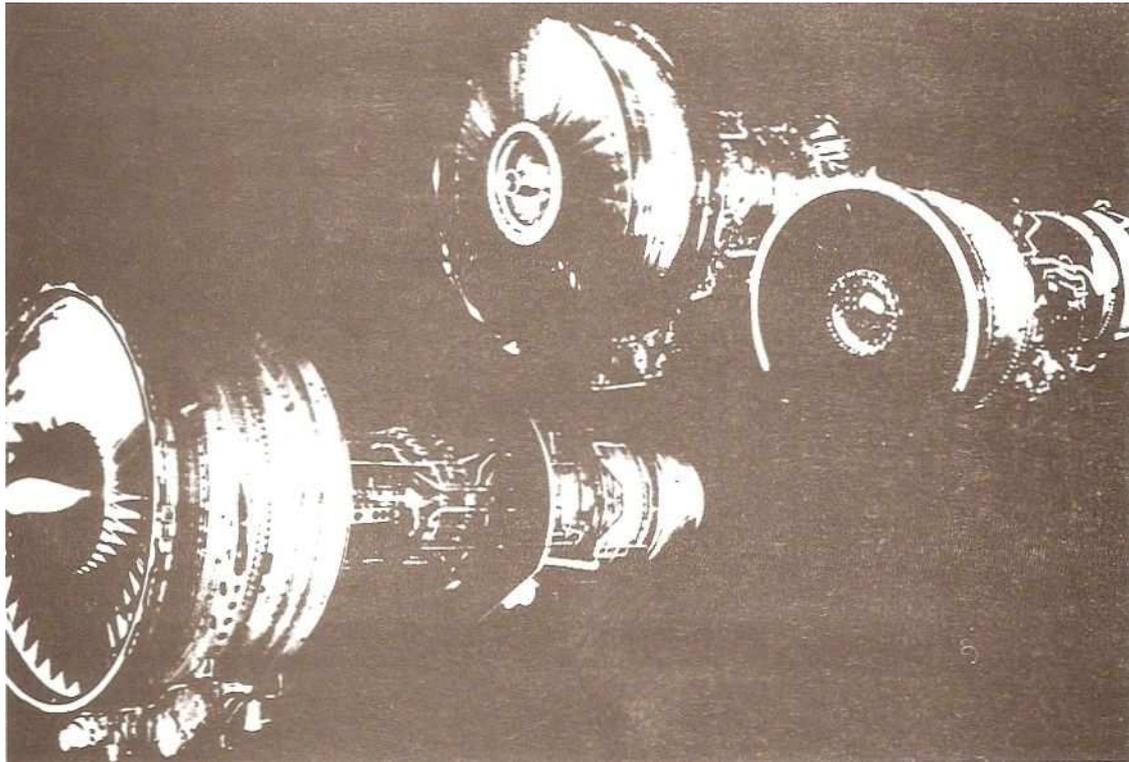


Fig. 8: Titanium application in aerospace
(Applicazioni del titanio nei motori aeronautici)

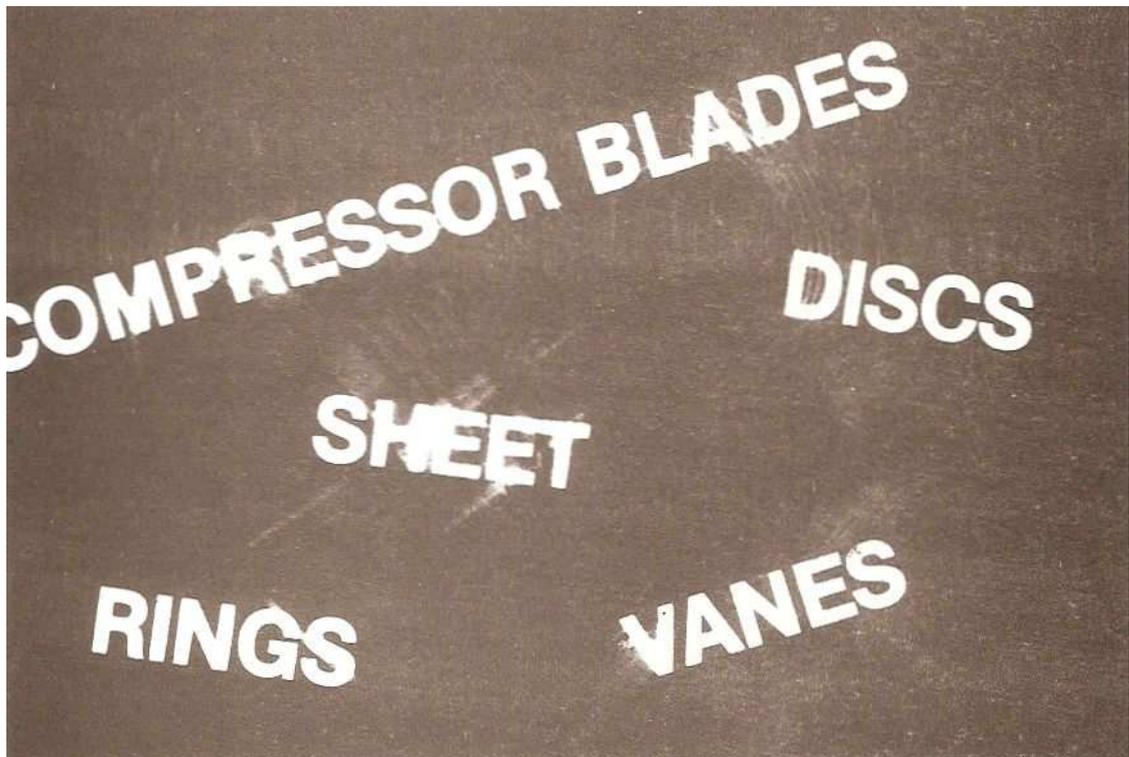


Fig. 9: Some aerospace engine components made out of titanium
(Vari componenti i motori aeronautici costruiti in titanio)

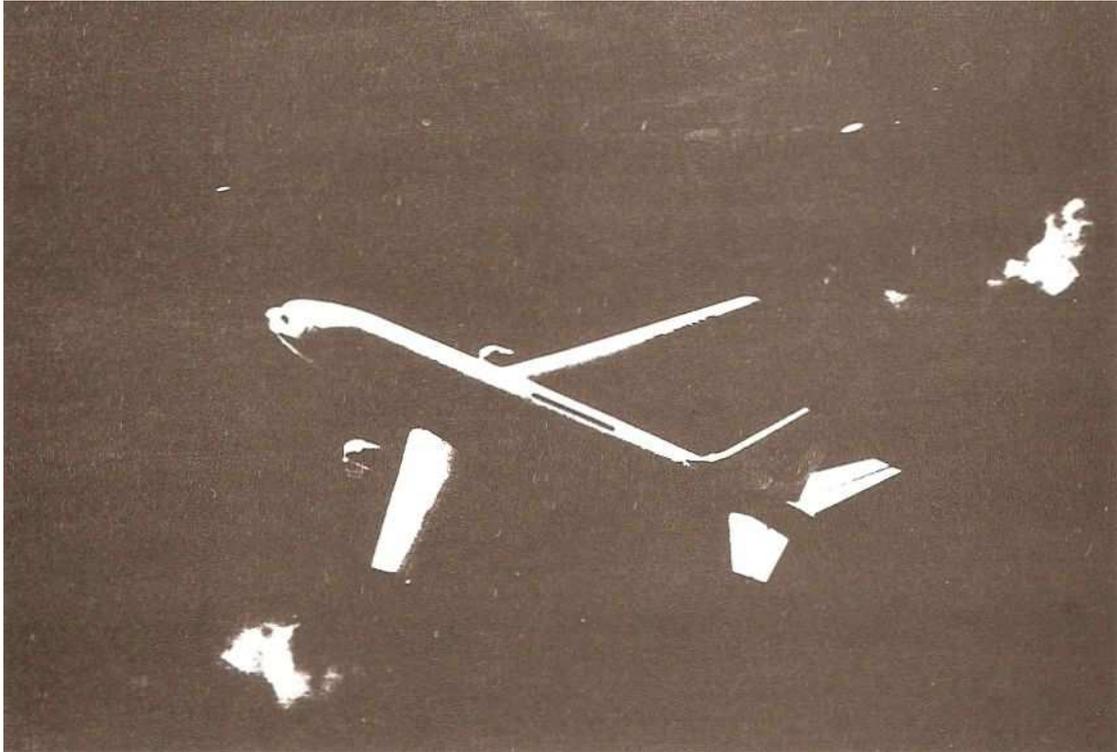


Fig. 10: Titanium application in aerospace airframes
(Applicazione del titanio nelle strutture aeronautiche)

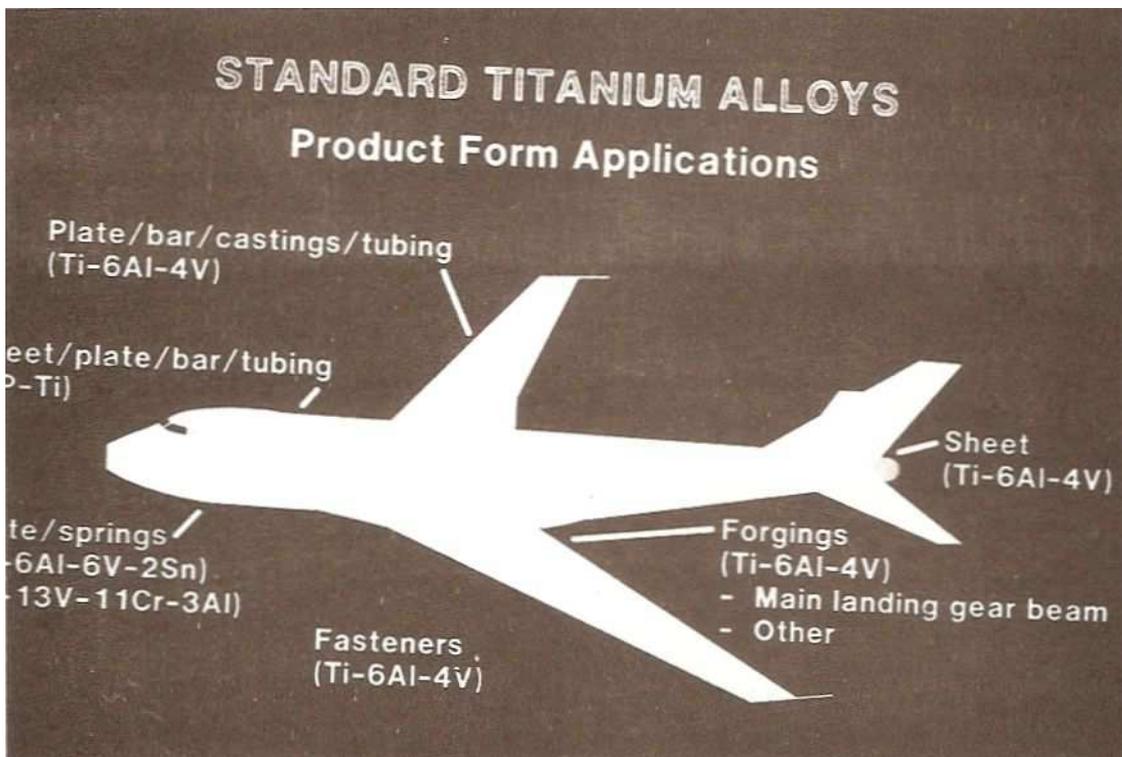


Fig. 11: (Altre applicazioni aeronautiche delle leghe di titanio)

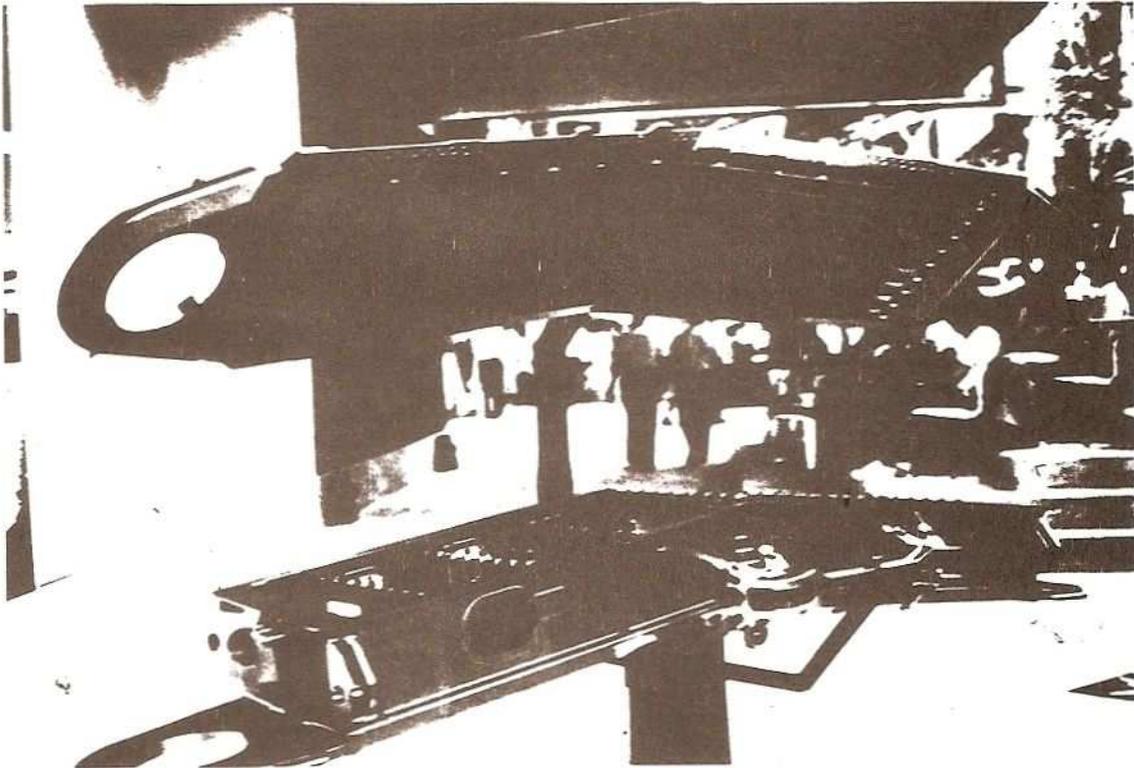


Fig. 12: Wing carry - through structure for the Tornado
(Struttura portante di un'ala del Tornado)

| INDUSTRIAL MARKET DISTRIBUTION | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|
| MARKET: | % DISTRIBUTION | | | |
| | 1965 | 1973 | 1977 | 1985 |
| General Chemical | 50 | 30 | 32 | 21 |
| Electrodes | 50 | 32 | 13 | 19 |
| Power | 0 | 16 | 35 | 25 |
| Hydrocarbon | 0 | 8 | 8 | 4 |
| Pulp/Paper | 0 | 4 | 5 | 7 |
| Geothermal | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Miscellaneous | 0 | 10 | 7 | 21 |
| Total pounds (1,000,000): | 1.5 | 4.5 | 9.0 | 12.0 |

Fig. 13: (Distribuzione percentuale dei settori industriali in cui è applicato il titanio)

For example, in 1965, 50% of the titanium used in non-aerospace or industrial markets, was used in chemical plants, where its corrosion resistance was important. Another 50% was used as electrodes in the generation of chlorine.

Now as we move to 1973, we see that we have new applications, in the power industry. The power industry now utilizes large quantities of Titanium in heat exchangers. One power plant can utilize as much as 500,000 pounds of titanium.

Also in 1973 we find that titanium is being used in the pulp and paper industry.

Now as we move on out into 1985, we see some changes in the numbers. But we see that there has been growth in the pulp and paper; we see now some utilization in geothermal. And finally, what is very interesting, 20% of the usage is miscellaneous applications. Now let's review some of these applications.

Let's first cover chemical plants (fig. 14). Fig. 15 is an example of a titanium tank for storage of the chemical sodium chlorate. I would like for you to note the large size of this vessel. This very large vessel is typical of the types of fabrications that are now being made out of titanium. Another example is a chemical vessel for use with calcium chloride (fig. 16). Again, note the size of the vessel. Another interesting example: this truck has a titanium shell and carries nitric acid (fig. 17). Here we have the advantage of corrosion resistance and light weight. There is a limit in the United States as to the total weight that can be on the road. By utilizing titanium, more nitric acid, could be carried because of the light weight.

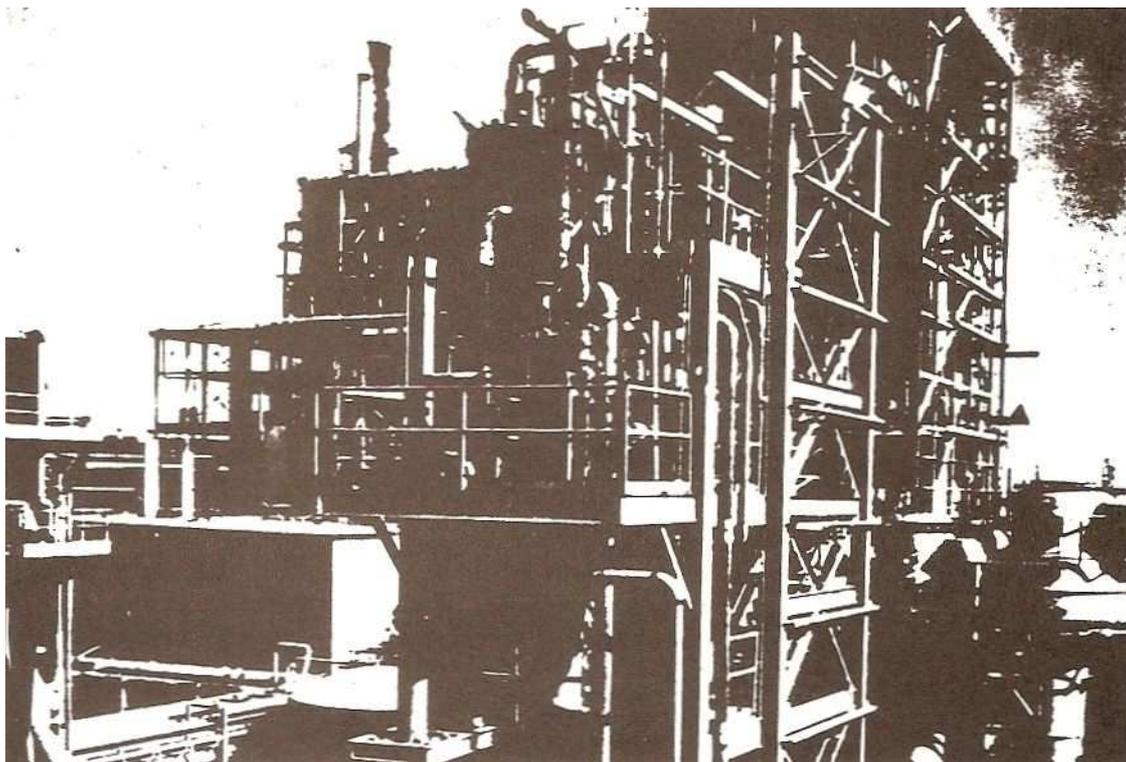


Fig. 14: Titanium application in chemical plants
(Applicazione del titanio negli impianti chimici)

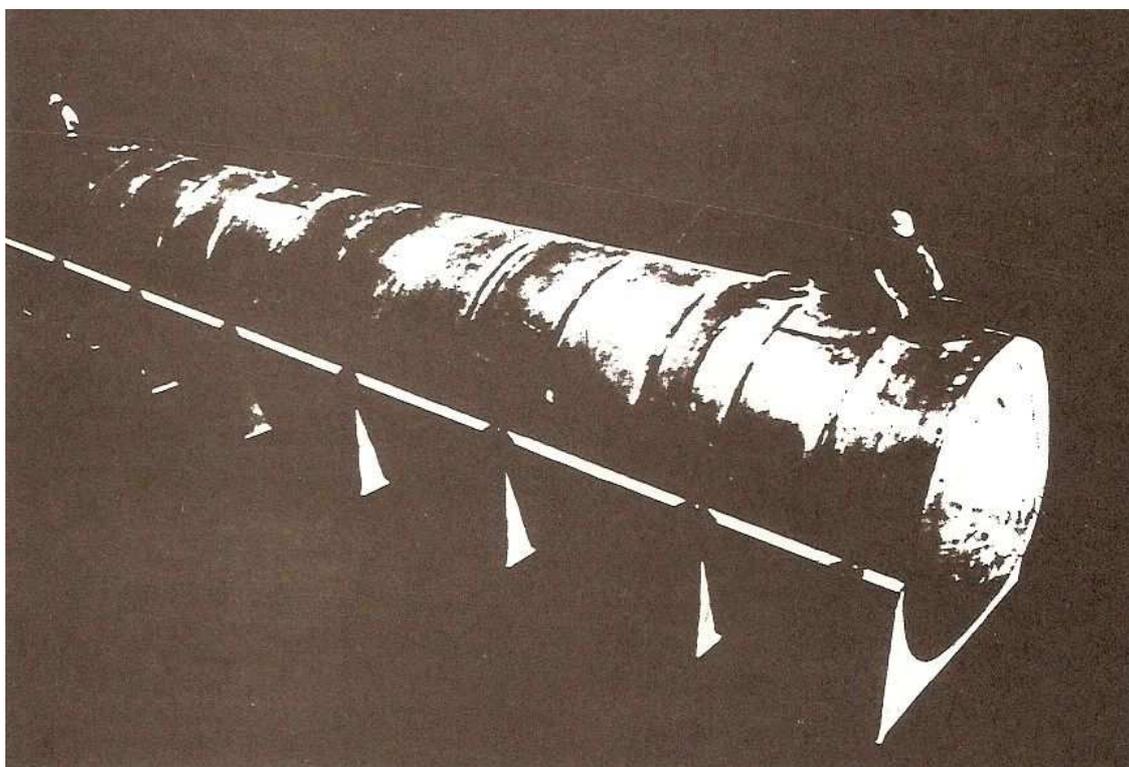


Fig. 15: Titanium tank for storage of sodium chlorate
(Serbatoio per lo stoccaggio di sodio clorato)



Fig. 16: Chemical vessel for calcium chloride
(Serbatoio per cloruro di calcio)



Fig. 17: Truck with a titanium shell for nitric acid
(Autocarro con serbatoio per acido nitrico)

Another example of where weight is very important is a very high speed Beckman centrifuge (fig. 18). Titanium is chosen for two reasons: its very high strength and its low weight makes it possible to go at very high speeds.

Another example of unique technology in the use of titanium is electrochemical. This technology was developed in Italy and is for the generation of chlorine on precious metal-titanium anodes (fig. 19).

Titanium is used extensively in heat exchangers. Titanium has a low thermal conductivity, and it was unexpected, in the very early days, to find that titanium was very good in heat transfer. The basic reason is that the heat transfer is dependent on the film on the surface.

Titanium in most environments does not corrode, and there is very, very good heat transfer.

Many competing metals (copper, nickel, some of the stainless steels) corrode, and as a result, the heat transfer decreases with time (fig. 20). But titanium has excellent heat transfer because of its surface film and lack of corrosion.

A good example of a heat exchanger is this plate-type heat exchanger (fig. 21); it is put together with many cold formed sheets of titanium. These are used very often in sea water cooling. One typical application is on oil rigs off-shore. This is the primary cooling heat exchanger.

Another example of a heat exchanger, is a tube inside of a tube (fig. 22). This was developed for a municipal sewage treatment plant utilizing wet oxidation process. In this application the corrosion resistance, a high temperature and good heat transfer are required.

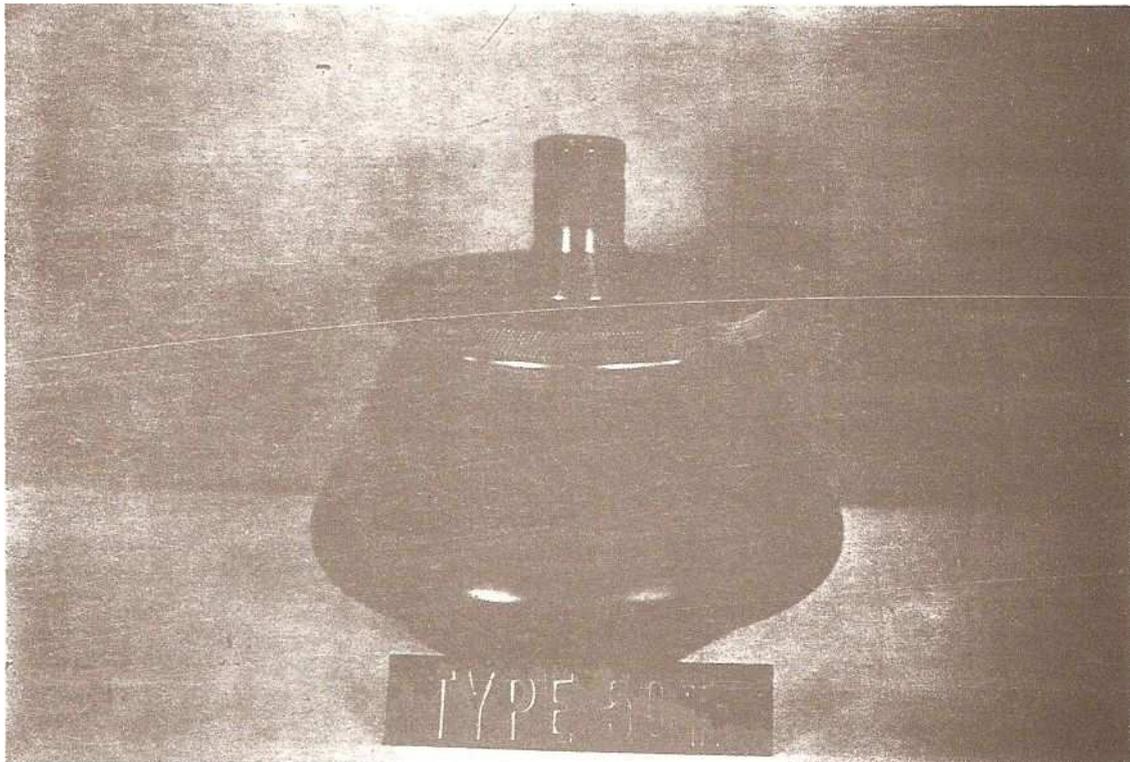


Fig. 18: Beckman centrifuge
(Centrifuga Beckman)

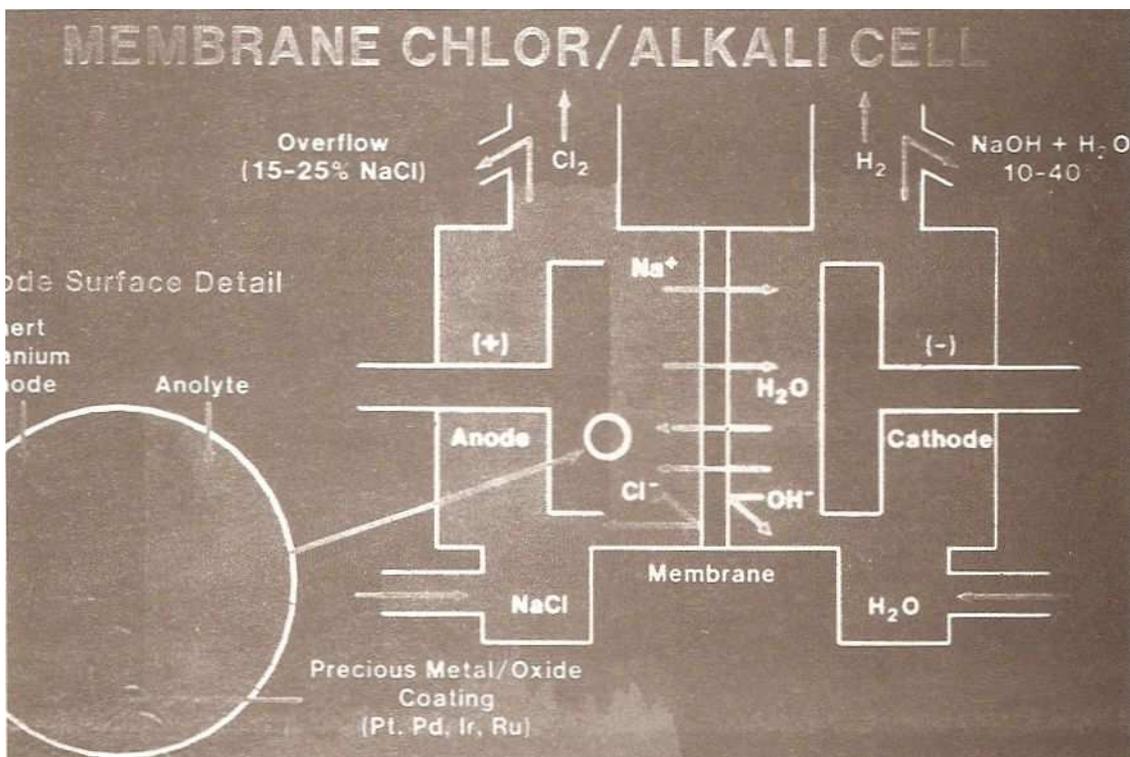


Fig. 19: Titanium anodes
(Anodi in titanio)

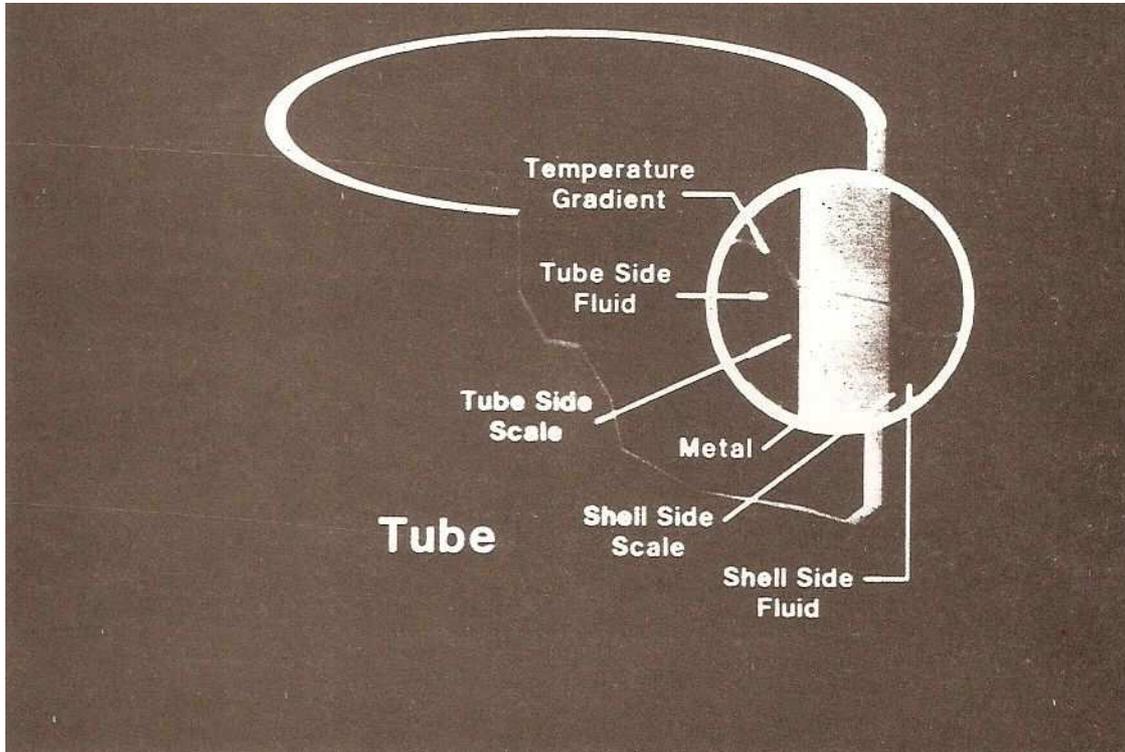


Fig. 20: Temperature gradient in a titanium tube
(Gradiente di temperatura all'interno di un tubo
in titanio)

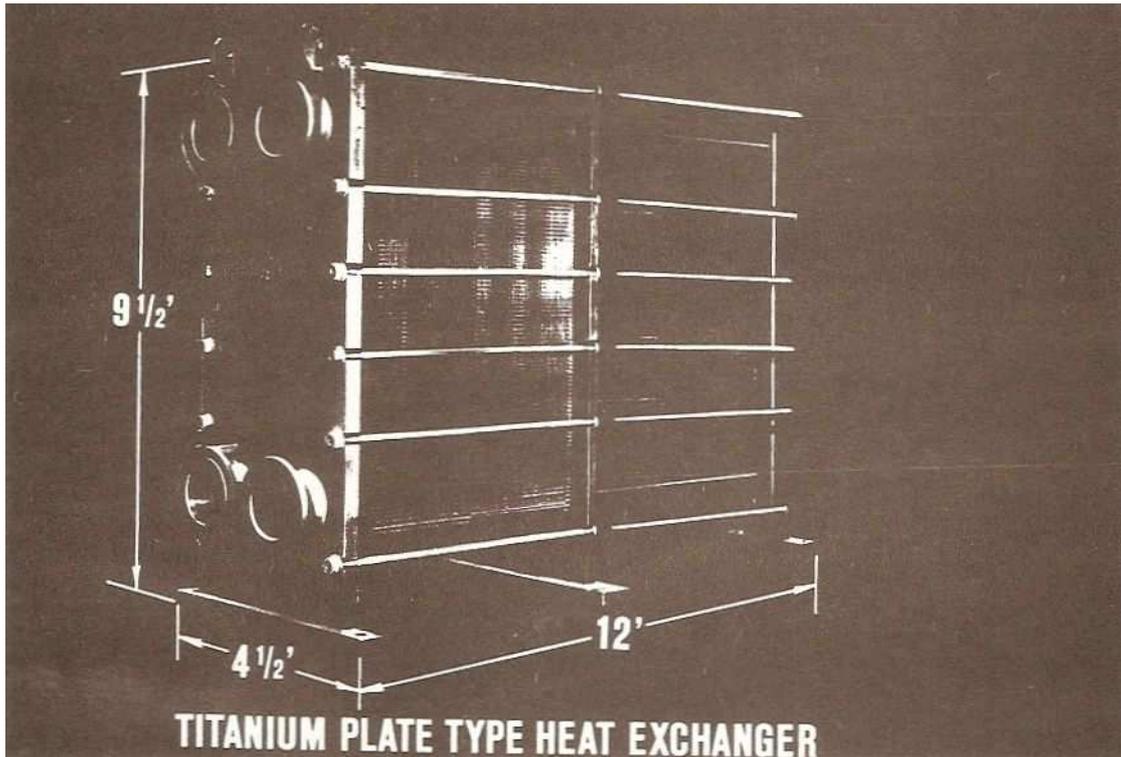


Fig. 21: (Scambiatore di calore a piastre)

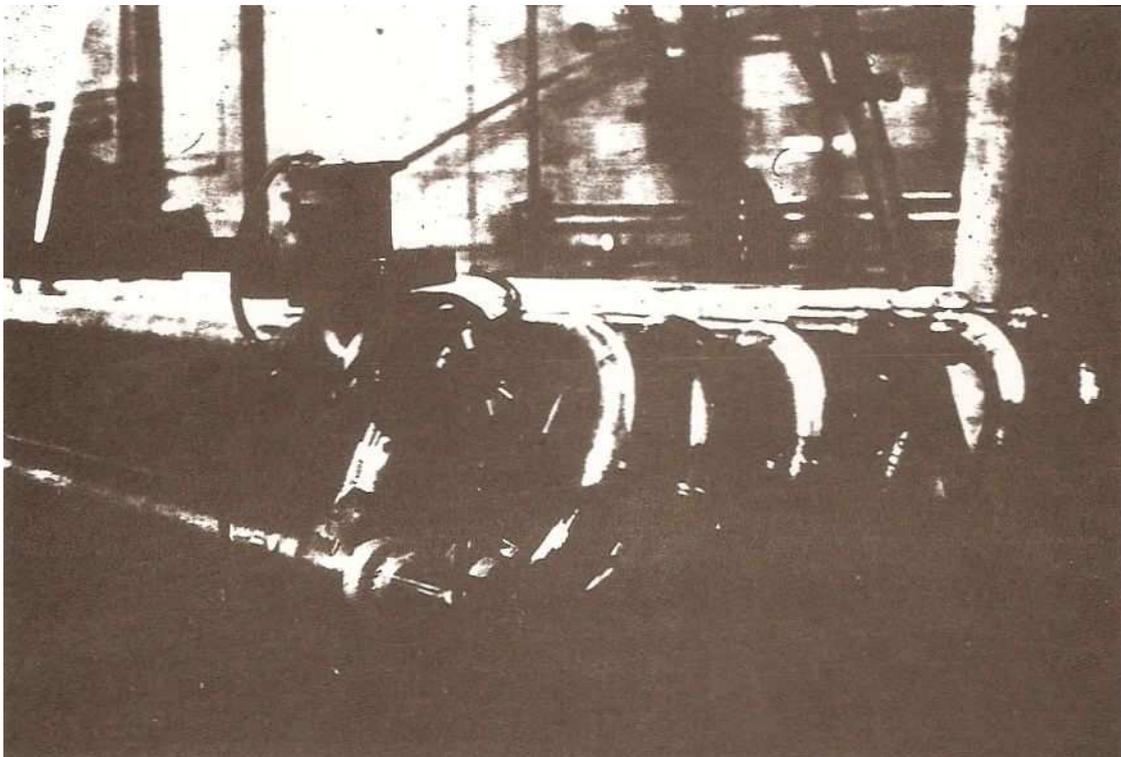


Fig. 22: Titanium tube inside of a tube type heat exchanger
(Scambiatore di calore a tubi coassiali)

Another example of the characteristics of titanium is its good ballistic resistance. This is the protection around a pilot in an A-10 fighter (fig. 23), titanium is there because of light weight and excellent ballistic characteristics.

Another interesting area is the use of titanium in automobiles. Titanium has been used for some time in racing and high performance automobiles (fig. 24).

In the last four or five years, in the attempt for the auto industry to become more efficient with their vehicles, to improve gas mileage or to improve performance, they began to look at titanium as a possibility. From this early development two companies have very active programs in titanium, one being Ford Motor Company, and the other being Mitsubishi in Japan.

Mitsubishi has announced that they will be utilizing titanium intake valves in a 1986 production high performance automobile. There is a possibility that Ford will have some engine components in about 1989. But why titanium? It is offering, not just total weight savings, but improved performance in engines.

I would like discuss about springs: these are suspension springs from a titanium alloy (fig. 25). The spring on your left is made out of steel the spring on your right is made out of titanium. They both will do the same performance in an automobile. The weight of the steel spring is 14 pounds; the weight of the titanium spring, 5 pounds. The other advantage of titanium is that the spring on the right can be made more compact, can be made shorter; the steel spring cannot. This is why titanium springs are used in aerospace, because they can be put into smaller compartments.

Also valve springs are now being made, and are showing very good performance.

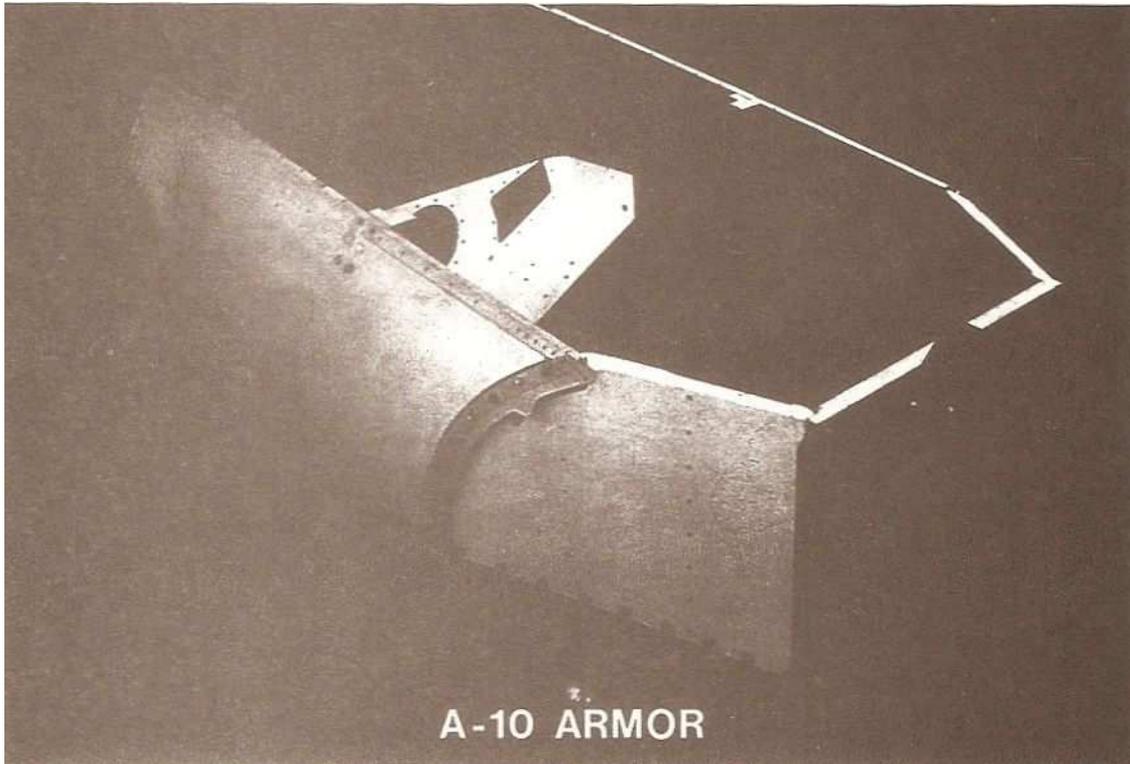


Fig. 23: Titanium application in ballistic area:
protection around a pilot in an A-10 fighter
(Applicazione del titanio nel settore balistico:
protezione del pilota in un area da
combattimento)

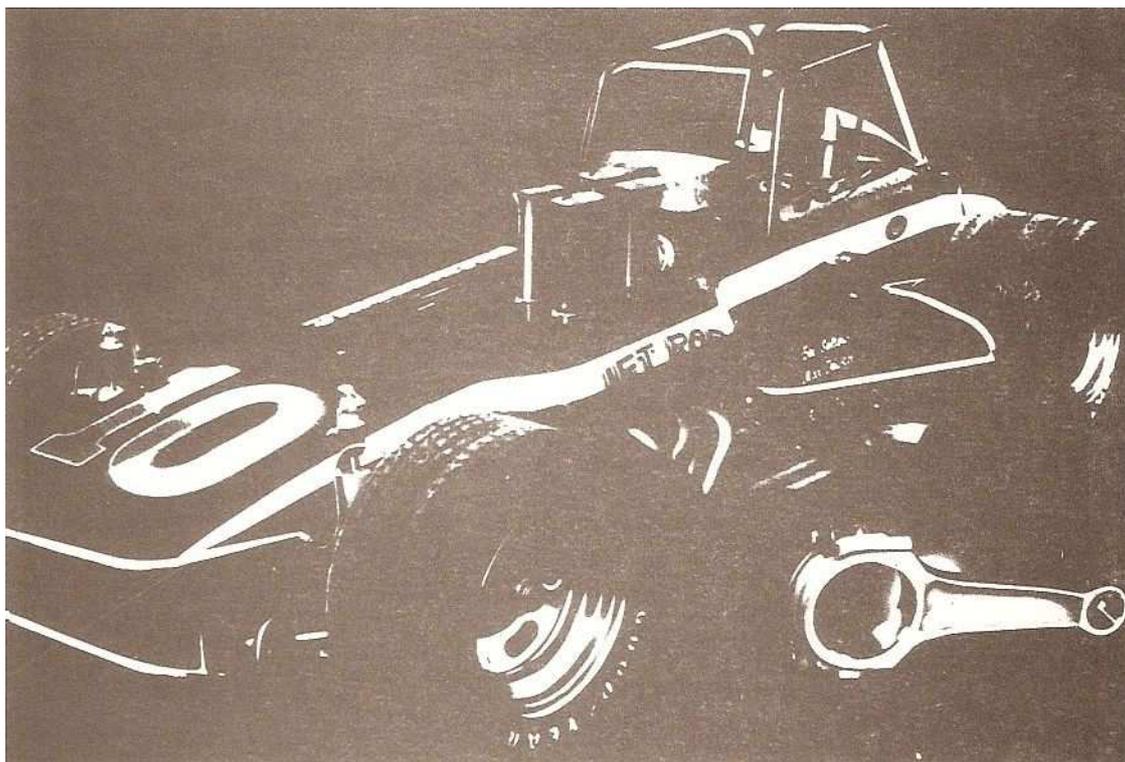


Fig. 24: Titanium application in automotive area
(Applicazione del titanio nel settore automobilistico)

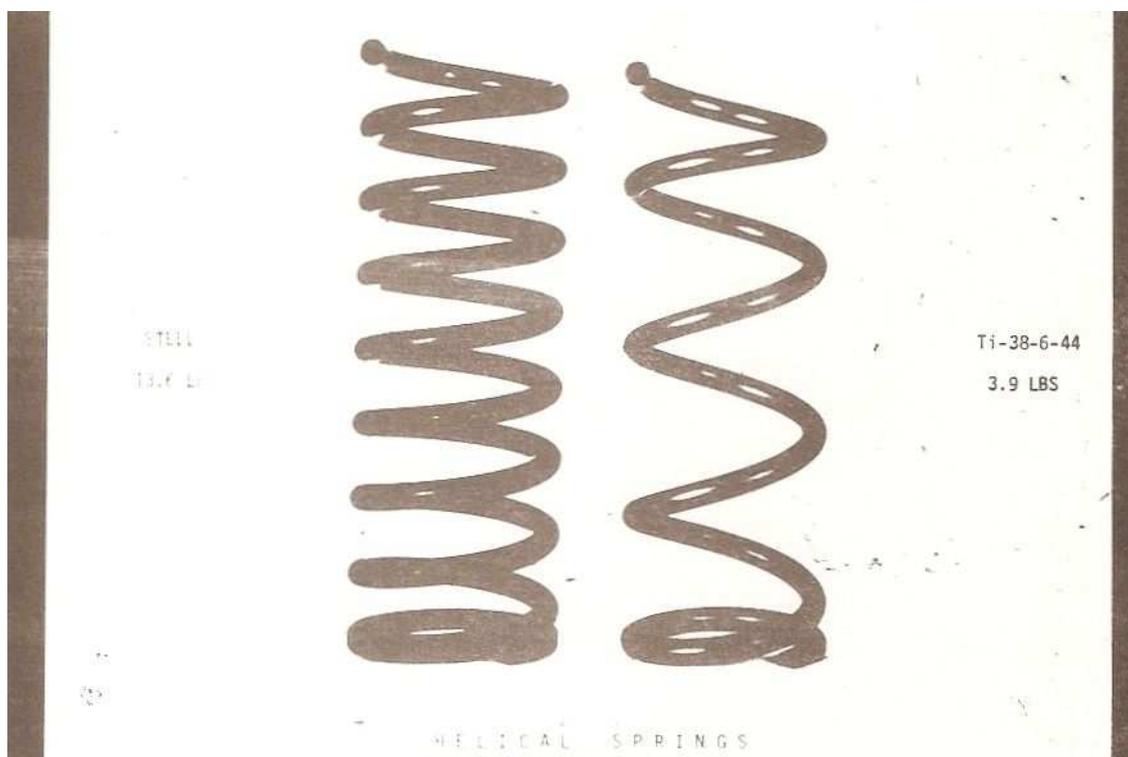


Fig. 25: Titanium-alloy spring - VS - steel spring
(Molla in lega di titanio confrontata con molla in acciaio)

Here is an example of a forged valve (fig. 26). Titanium makes very good intake and exhaust valves. Combined with springs, the fuel consumption of an engine can be decreased, approximately, 1 to 2 miles per gallon.

Another interesting example of titanium is the use in the body. In fig. 27 you may recognize some of those parts: a femur, a hip joint. The very rough looking area is titanium powder that is used in the healing process to make a stronger joint with the bone.

Titanium is a very good implant material for three reasons. One, you recall, it is very good in chloride environment and because the body is sodium chloride, there is no corrosion. Number two, titanium is very strong, and three it is light.

In Fig. 28 you can see a cardiac valve.

A problem in our country, as well as around the world, is how to store nuclear wastes. The solution that we appear to be utilizing, is to store the wastes in salt mines. And the concept that is being evaluated in a prototype is to store in titanium cans because of the excellent corrosion resistance of titanium in a salt environment (fig. 29).

Another area of concern is air quality. And in this respect, we are very concerned with the emissions of sulphur compounds from power plants. There will be restrictions on the emissions. We expect titanium will be a part of the solution to some of the problems (fig. 30).

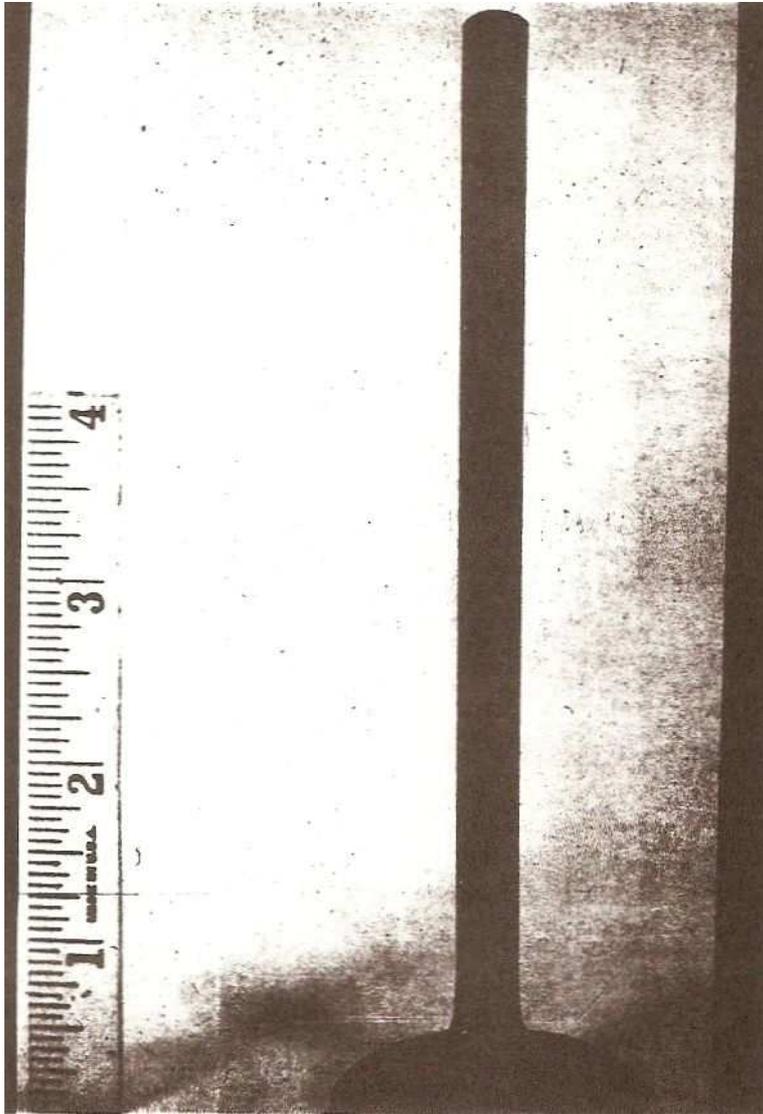


Fig. 26: Forged valve
(Valvola ottenuta per forgiatura)

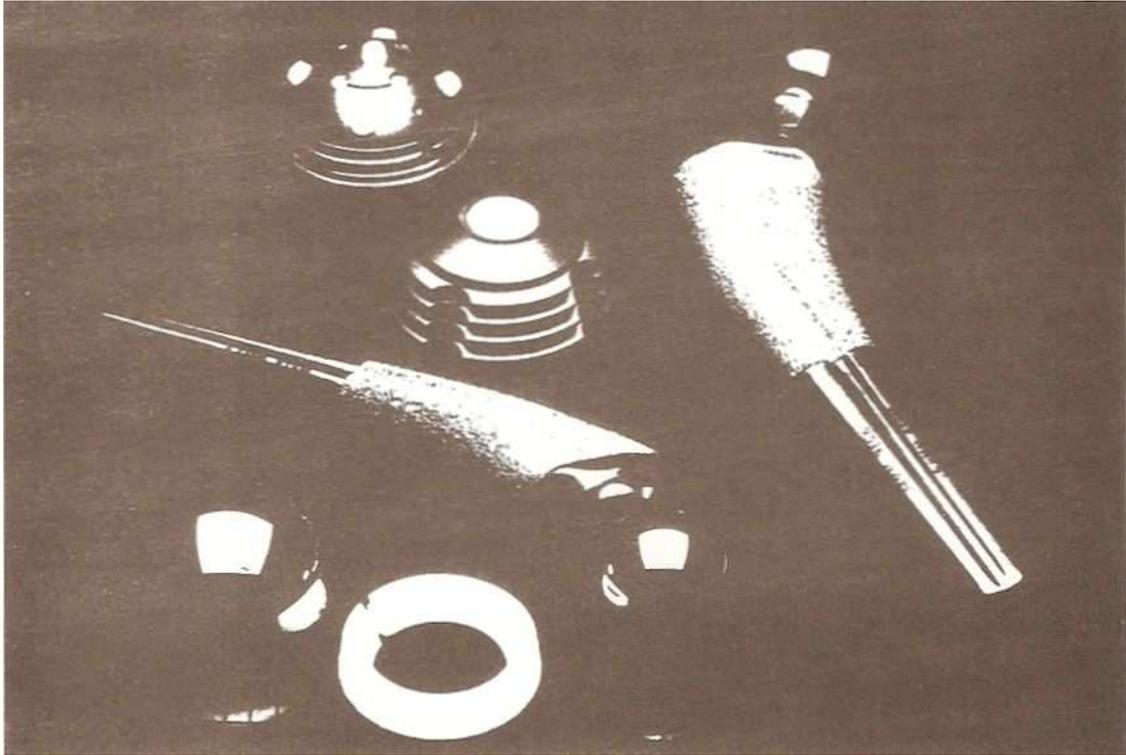


Fig. 27: Titanium application in medical area
(Applicazione del titanio nel settore medicale)



Fig. 28: Cardiac valve
(Valvola cardiaca)

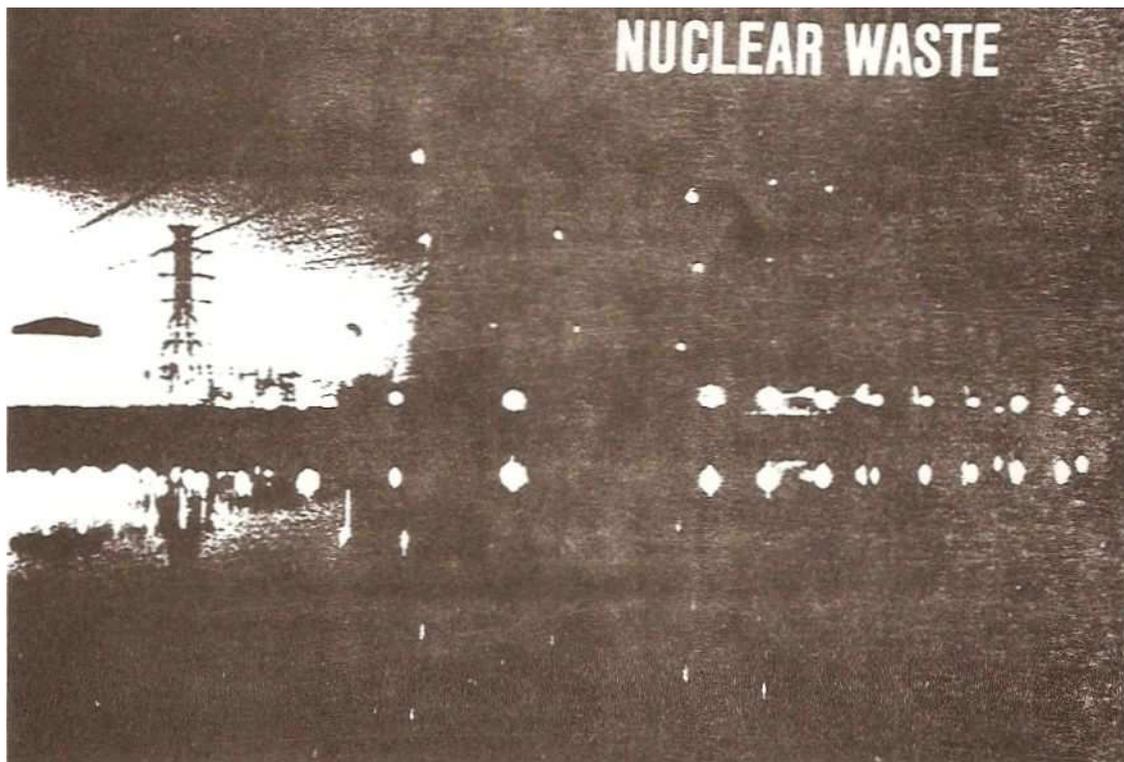


Fig. 29: Titanium application in nuclear area
(Applicazione del titanio nel settore nucleare)

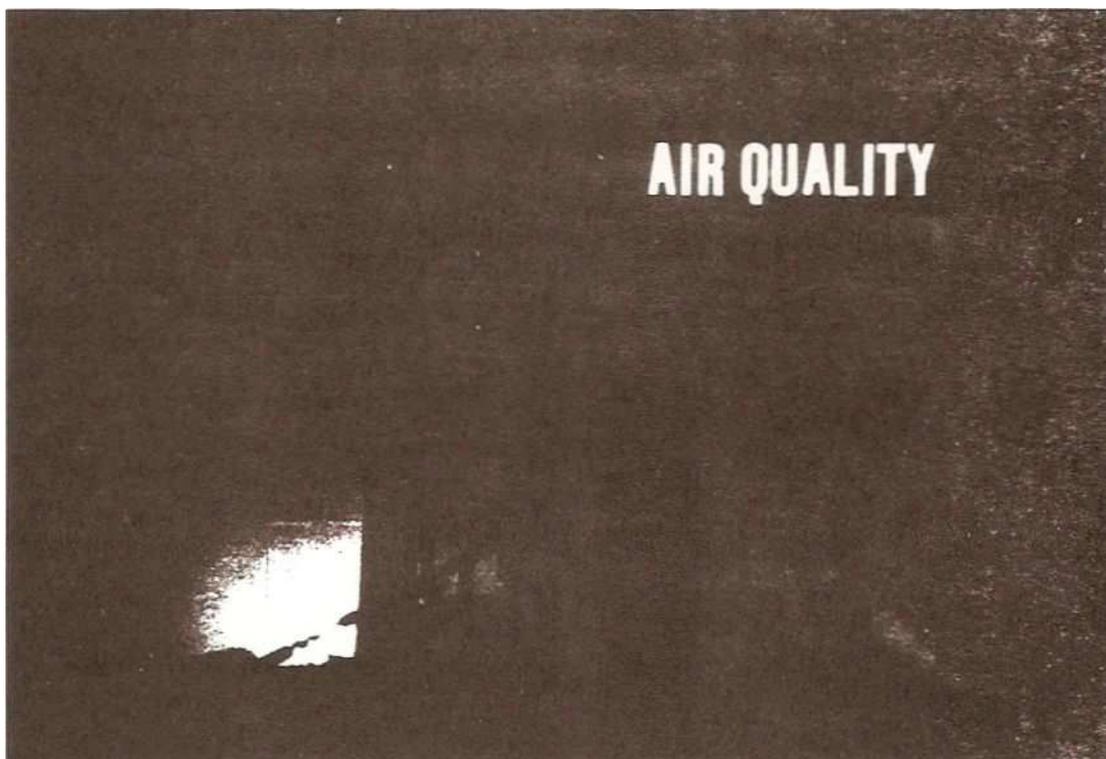


Fig. 30: Titanium application in antipollution area
(Applicazione del titanio nel settore antinquinamento)

Fig. 31 shows a scrubber unit for a typical power plant, and there are two very corrosive areas: the quench and also the mixing zone as the gas goes out the stack. Titanium alloys perform better than any other material in this application. Here is an example of a small scrubber for a chemical plant.

A new area that the titanium industry is now exploring for new uses is the exploration for energy at very deep depths. As we go deeper and deeper for these reserves of energy, the environment is much more corrosive. Common materials like steel and some of the stainless steel will not work. As of this year we have now had titanium alloys approved for use in very sour gas or hydrogen sulphides environments (fig. 32). As a result, we believe that this is going to open up some new significant markets. We have a piece of large pipe that we have produced for this market in the last year as an example of the types of pipes that will be produced for this market. An example of oil field use includes Schlumberger equipment for measuring various oil well characteristics. This is all titanium components, because of the corrosion resistance and light weight.

Another application for titanium is off-shore structures (fig. 33): there already are titanium heat exchangers on this particular rig but we expect more the structure itself being made out of titanium, because of corrosion resistance and light weight.

A large portion of rig cost is spent in ballast and with lighter weight materials, there is actually an economical use of titanium in some of these applications.

We are involved with several companies exploring these particular areas.

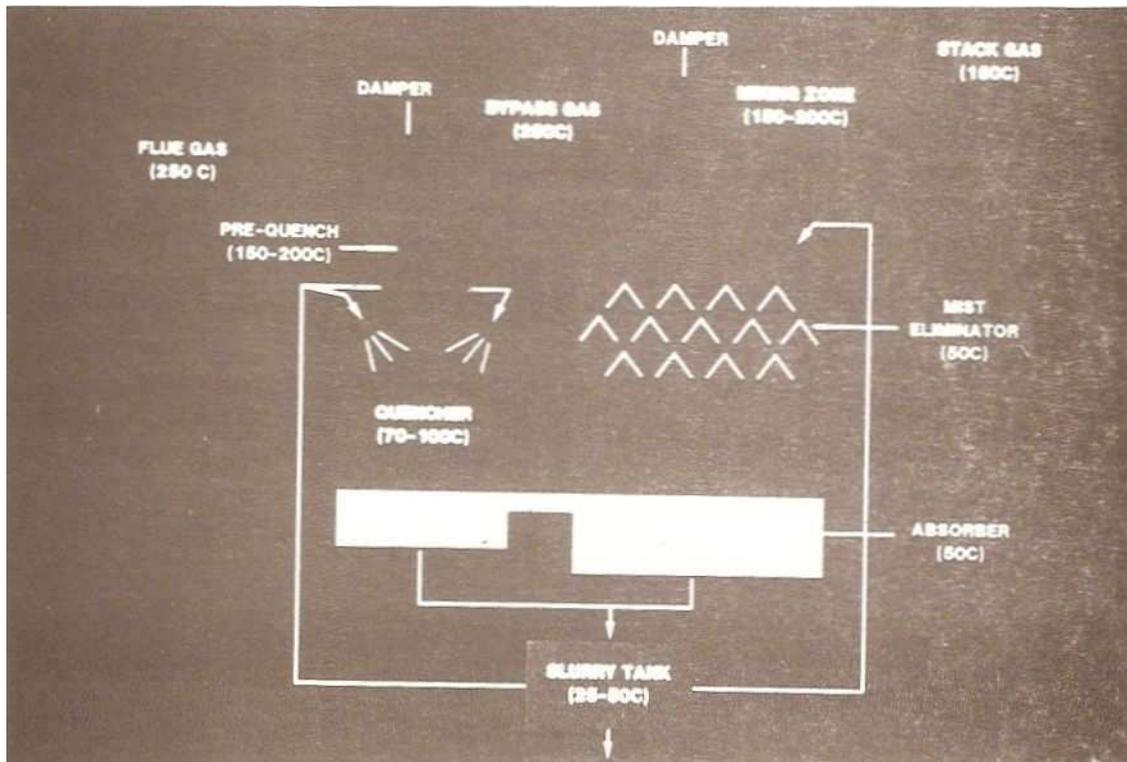


Fig. 31: Scrubber unit
(Scrubber)

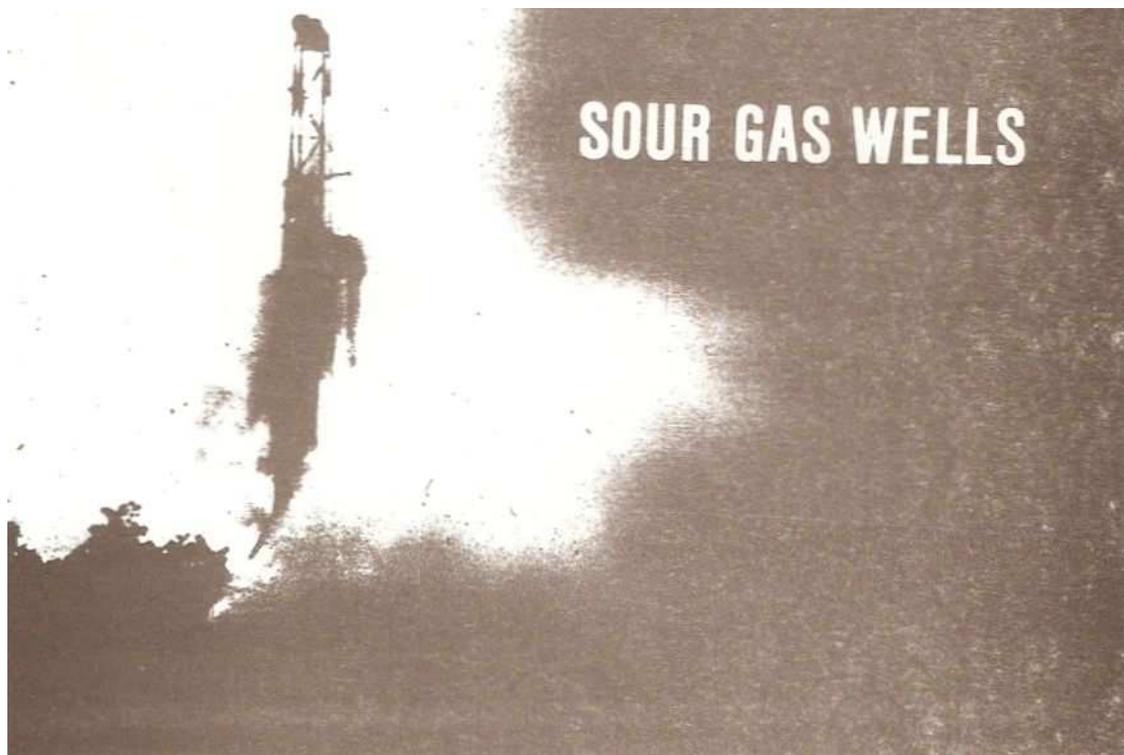


Fig. 32: Titanium application in corrosive environments
(Applicazione del titanio negli ambient
particolarmente corrosive)

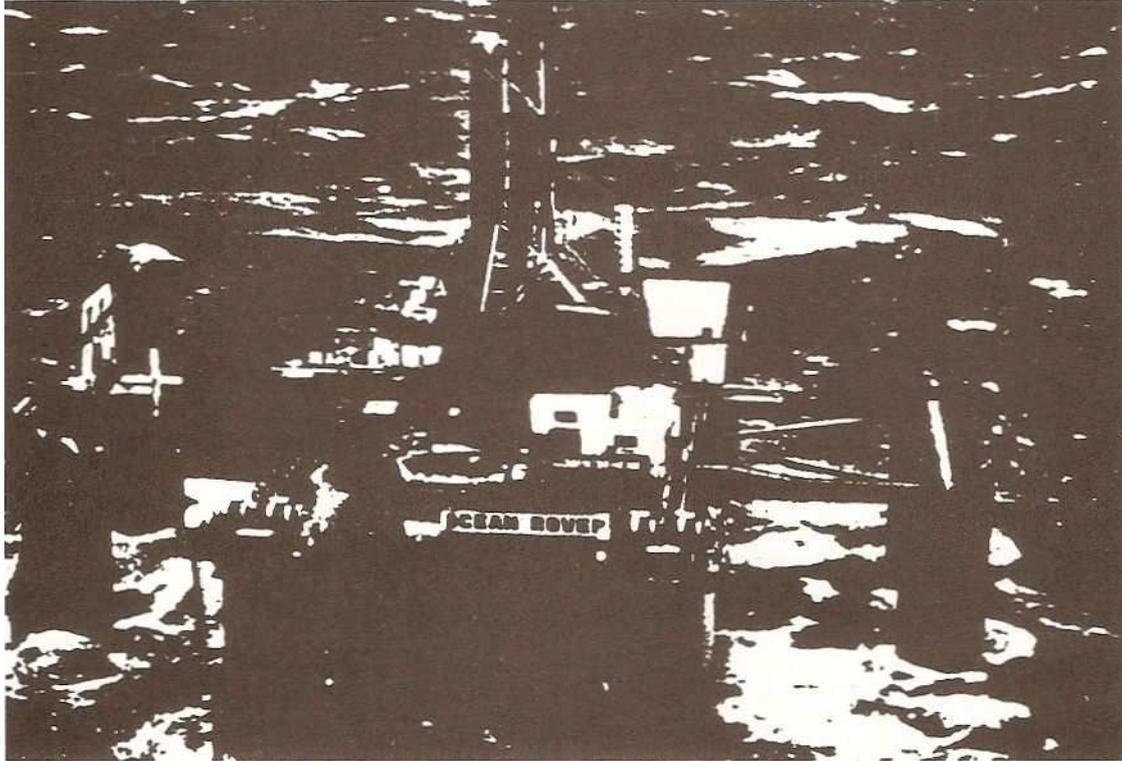


Fig. 33: Titanium application in off-shore structures
(Applicazione del titanio in parte delle
strutture degli impianti off-shore)

Another example is the use of titanium at the bottom of the sea floor as a stress-joint. The spring characteristics are important and the pipe can flex or bend (fig. 34). The first of these will go in within the next year.

Everybody is fascinated with the use of titanium under water, because of its excellent corrosion resistance. This is an example of the first all-titanium vehicle, and it was called the Alvin (fig. 35a e fig. 35b), and had a capability depth of 3500 meters. Since this time, another vehicle has been made, Seacliff, and it has a capability depth of 6500 meters.

These are made of titanium alloys.

Another example of an application in the water: this is a hydrofoil built by Boeing (fig. 36). There are many components of titanium. The main power plant that moves the water, the jet pump, is made of titanium.

And finally we are all fascinated by the concept of building submarines out of titanium (fig. 37). The fact is well known that the USSR has a titanium fleet of Alpha Submarines, the total hull made of titanium. It would appear that in the western world that this will not occur in the near future; however, there will be, larger amounts of titanium used on military vehicles, submarines. They will be used in a variety of applications. Already, all the ball valves on USA submarines are made from titanium. The last application area is geothermal (fig. 38). Titanium is very attractive for geothermal wells that are at very high temperatures, where there is a large quantity of energy available.

There are three areas in the world where these kind of wells exist. One, in the Pacific Basin, the second one in California, and the third area here in Italy.

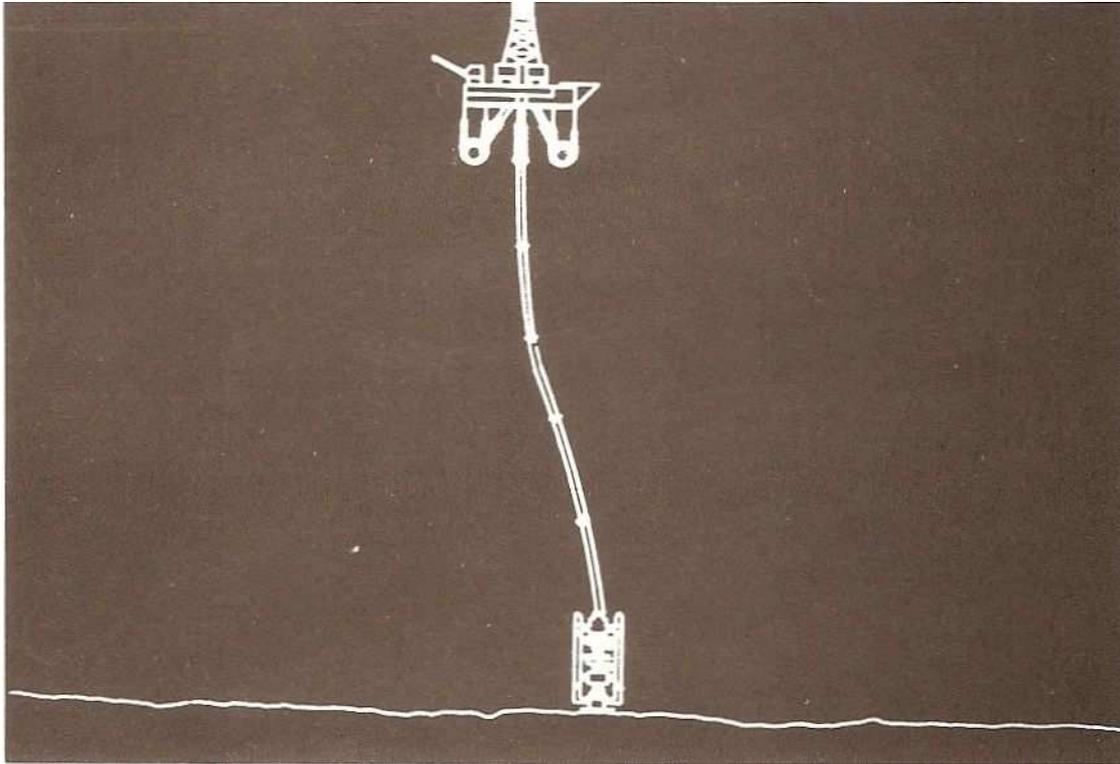


Fig. 34: Piping for off-shore drilling
(Tubazioni per perforazioni petrolifere
sottomarine)



Fig. 35a: Titanium application in naval area
(Applicazione del titanio nel settore navale)

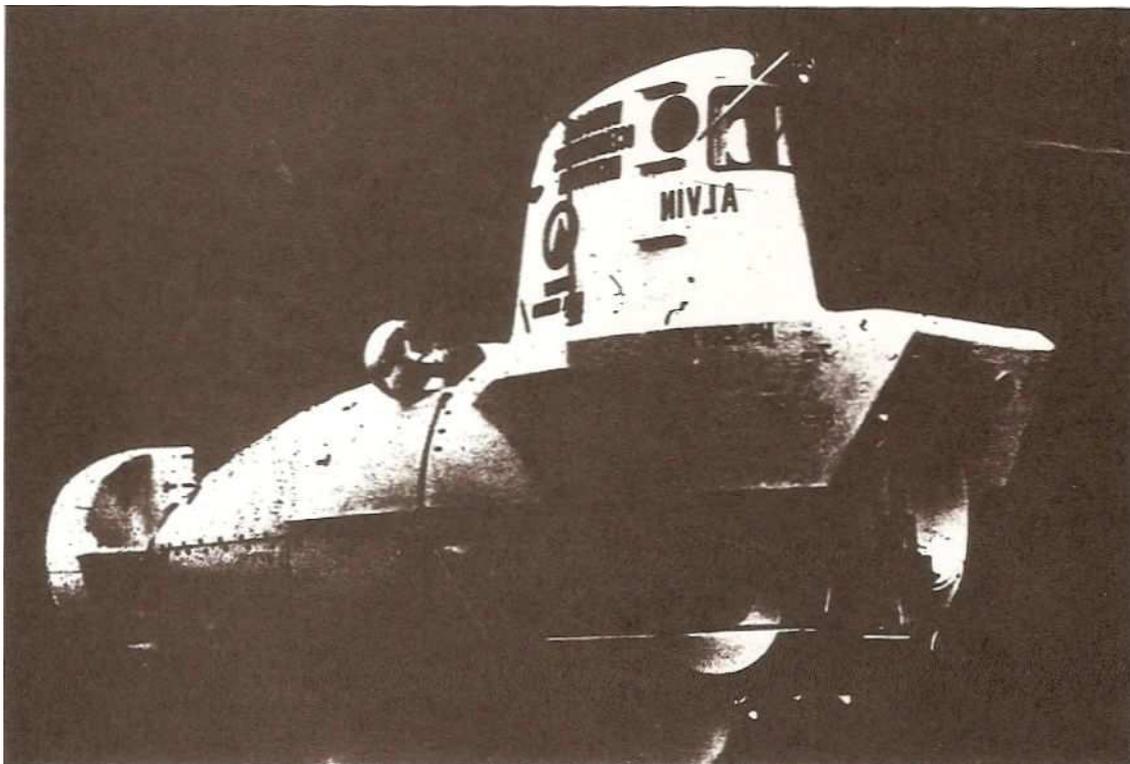


Fig. 35b: Submarine Alvin
(Sottomarino Alvin)

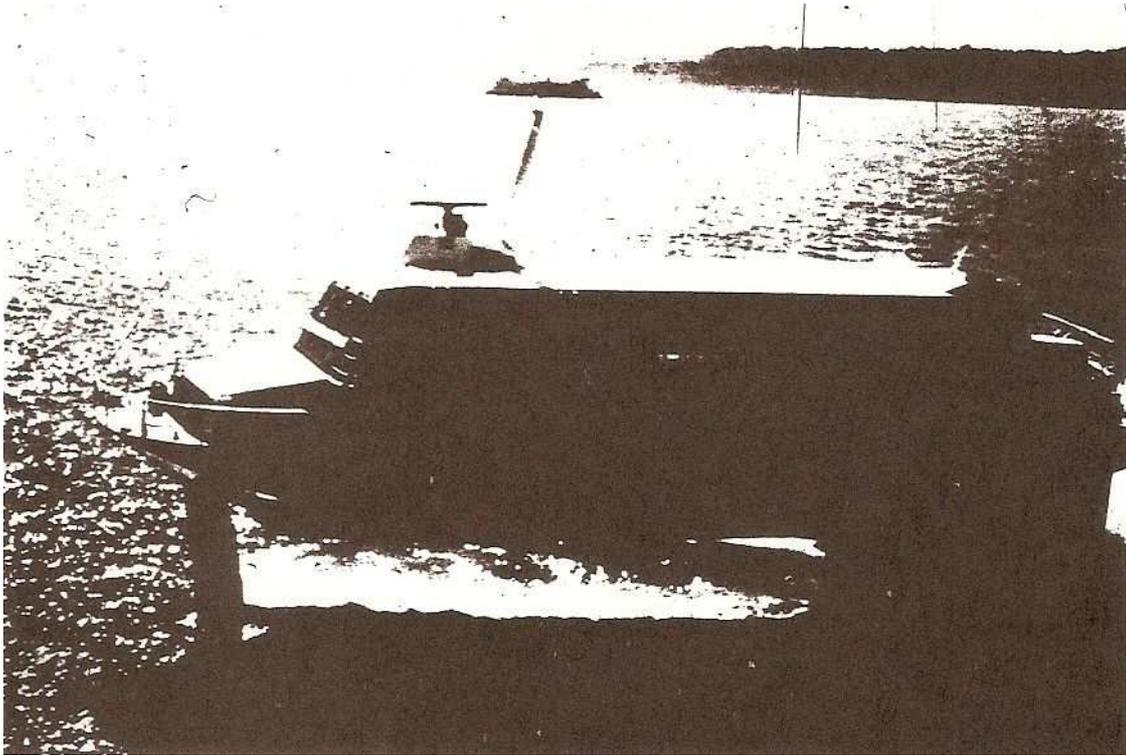


Fig. 36: Boeing's hydrofoil
(Aliscafo della Boeing)

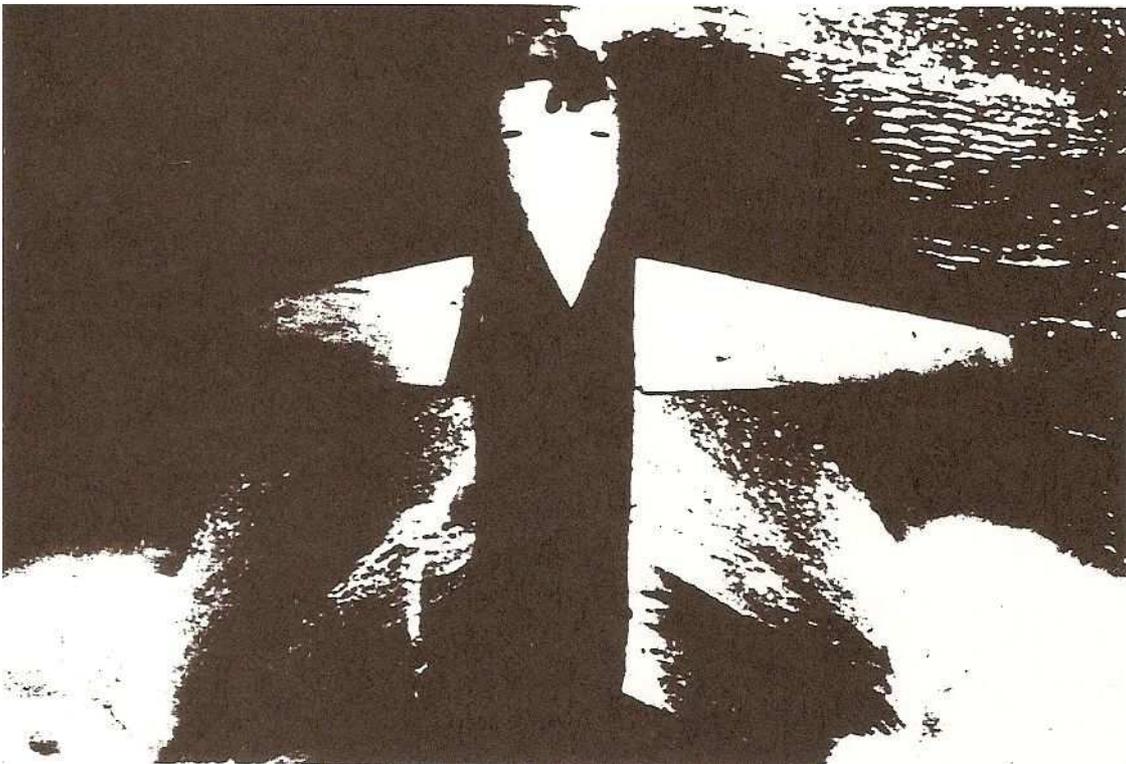


Fig. 37: Submarine Alpha
(Sottomarino Alpha - USSR)

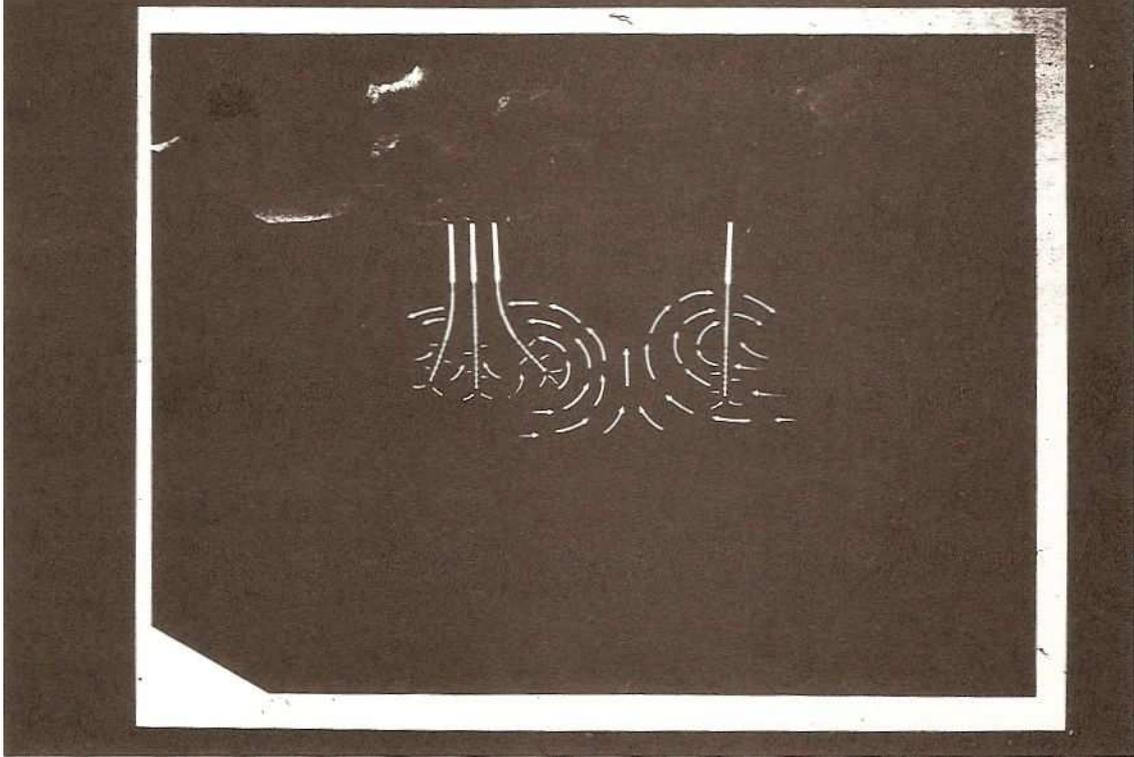


Fig. 38: Titanium application in geothermal area
(Applicazione del titanio nel settore geotermico)

We are developing the area in California utilizing titanium piping. And I would challenge you to look at this possibility here in Italy.

Titanium products

Titanium can be fabricated into all common shapes. Typical products that can be made out of titanium are illustrated. All of these products are made from of titanium powder. These are a variety of products that have been hot-formed from titanium or cold-formed (fig. 39). New technology is being developed to make it easier to form titanium. Here is an example of a forging (fig. 40). This is a helicopter rotor forging (fig. 41).

Titanium can be easily fabricated like most other common metals.

Finally, we have examples of castings of titanium (fig. 42). As you can see these are very intricate castings, and these can now be done in titanium. Five to ten years ago this was not possible, so there has been technology growth in fabricating of this metal.

In summary, the key properties to titanium are: it has high strength, it has very good durability, it's lightweight, and it has excellent corrosion resistance (fig. 43).

Grazie!

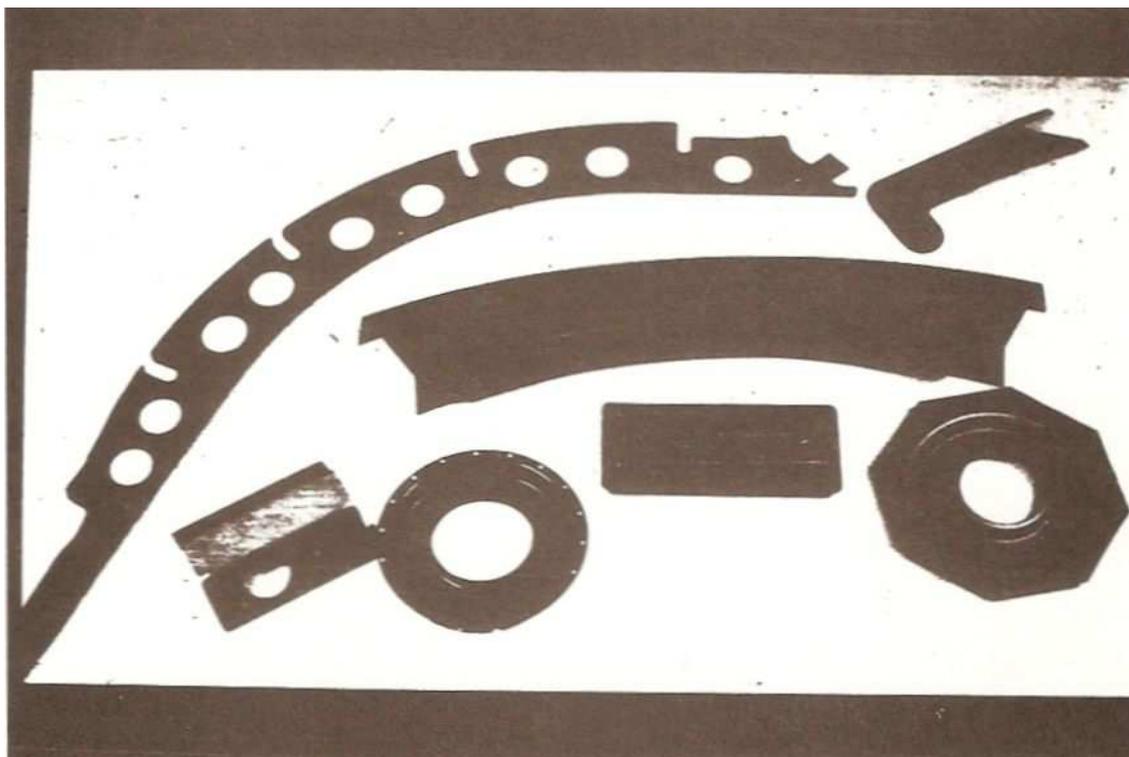


Fig. 39: Titanium hot-formed and cold-formed products
(Stampati a caldo e a freddo in titanio)

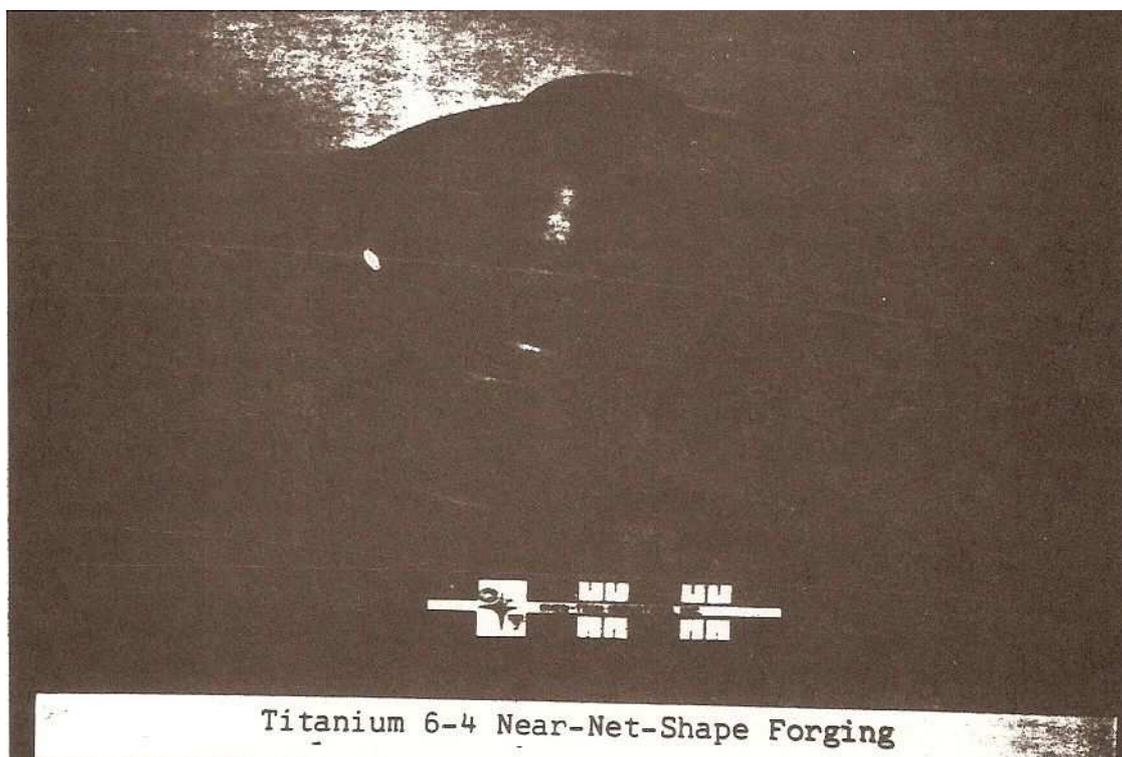


Fig. 40: (Forgiato in lega Ti6Al4V)

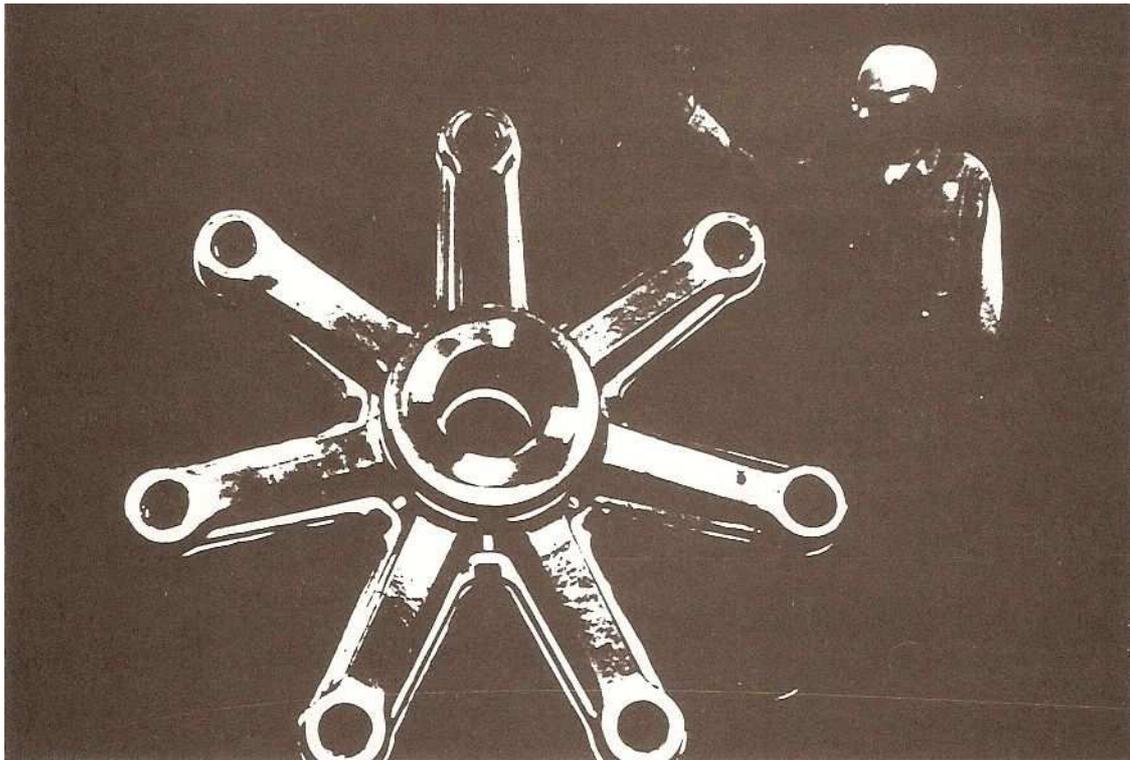


Fig. 41: Helicopter rotor forging
(Rotore di un elicottero -forgiato-)

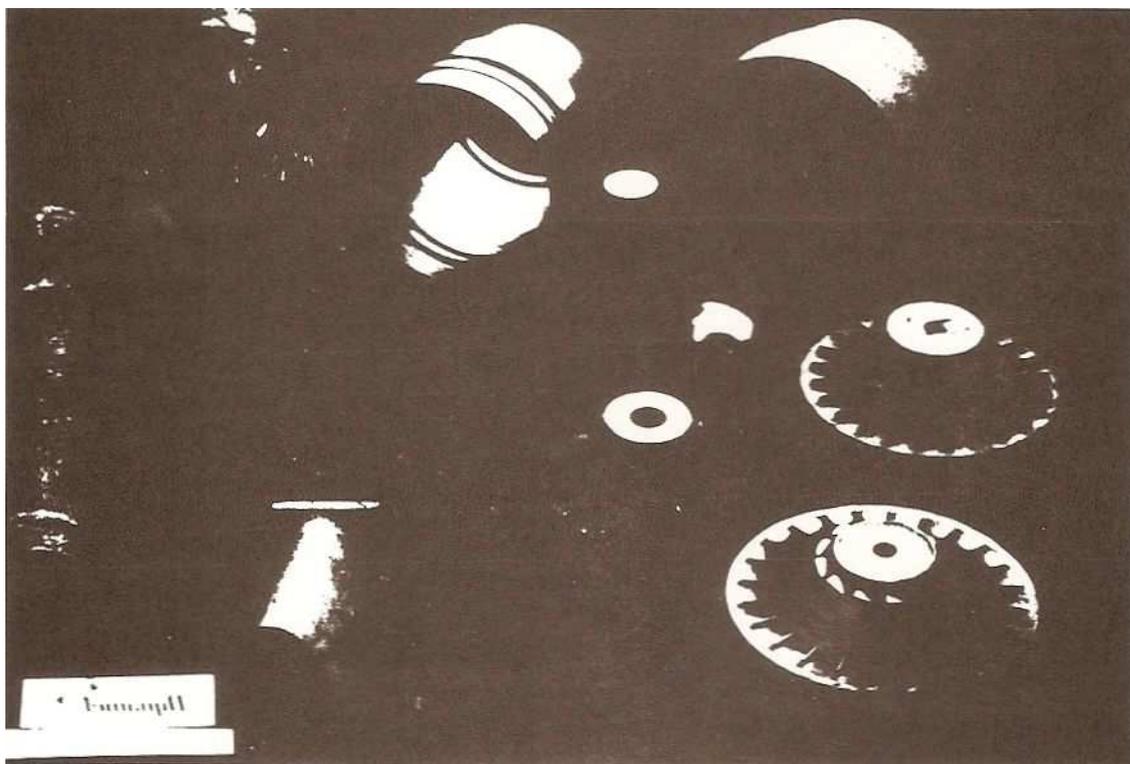


Fig. 42: Titanium castings
(Fusioni in titanio)

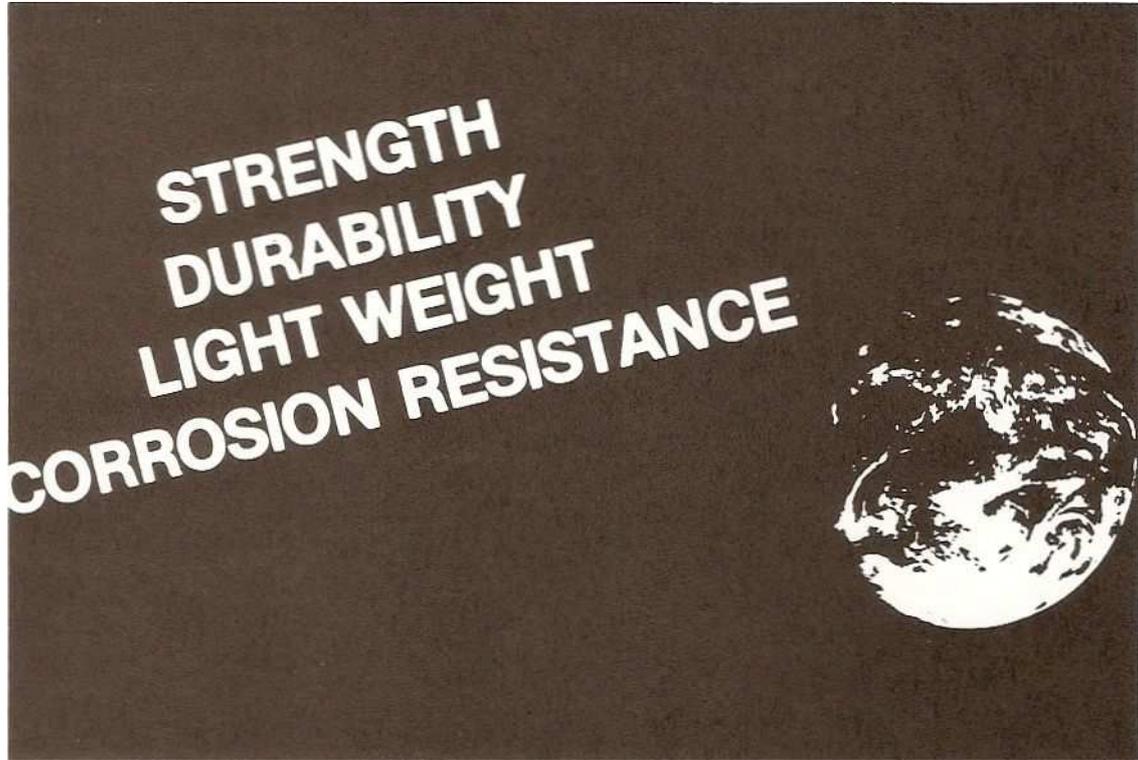


Fig. 43: Fundamental properties of titanium
(Proprietà fondamentali del titanio)

In questi ultimi anni, sono stati fatti molti studi riguardanti la corrosione del titanio, a testimonianza del crescente impiego di questo metallo negli ambienti più diversi.

Come è stato affermato dagli oratori che mi hanno preceduto ed in particolare dal Dott. Seagle, il titanio trova un impiego, sempre più crescente, in tanti settori non aeronautici, perché le sue proprietà sono contraddistinte da un binomio formidabile: ottime caratteristiche meccaniche ed elevata resistenza alla corrosione.

E' naturale quindi che questo il metallo abbia trovato un impiego primario nell'industria chimica, soprattutto dove le condizioni sono molto gravose. Si può ritenere che circa il 35% del titanio prodotto venga utilizzato in queste industrie con un incremento annuo di circa il 10%.

Quando si parla della corrosione del titanio, si deve pensare ad ambienti molto aggressivi e condizioni esasperate, alte temperature, soluzioni acide, gas corrosivi. In questi ambienti il titanio resiste molto più di un acciaio inossidabile.

Il motivo per il quale il metallo resiste molto bene alla corrosione è prettamente elettrochimico. Il titanio è uno dei cosiddetti metalli "valvola", cioè è un metallo che si ricopre con strati isolanti che impediscono il passaggio di correnti di senso anodico, di corrosione. Per comprenderne il comportamento conviene pensare ad un confronto tra il titanio, l'acciaio inossidabile e l'alluminio.

Sulla superficie di un acciaio inossidabile si formano strati di ossido che normalmente, hanno uno spessore non superiore ai 100 Angstrom. Questi strati, ai bordi dei grani e dove si accumulano le dislocazioni e le impurezze, sono molto labili ed in certi ambienti possono rompersi innescando fenomeni di corrosione che comprendono il pitting, la corrosione sotto sforzo e la corrosione per fatica.

E' molto difficile ovviare a questo inconveniente perché non si può far crescere uno strato sull'acciaio inossidabile se non termicamente, e comunque senza risultati pratici per problemi di scagliatura degli ossidi.

Il caso dell'alluminio è completamente opposto, è infatti possibile far crescere sull'alluminio uno strato di ossido, avente lo spessore anche di alcune decine di micron. Questi strati usati nella protezione contro la corrosione atmosferica, hanno il difetto di non essere stabili in soluzioni alcaline perché si solubilizzano.

Poiché la reazione catodica della corrosione porta proprio ad un'alcalinizzazione dell'elettrolito, è molto probabile che anche in condizioni di corrosione atmosferica, questi strati si rovinino nel tempo. Inoltre essendo strati artificiali se vengono rovinati, con graffiature ad esempio, non si ripristinano. Il titanio, è un metallo che per sua natura si combina molto facilmente con l'ossigeno e nell'aria si ricopre con strati ossidati molto stabili ed aderenti, di spessore variabile nel tempo da 50 a 200 Angstrom; anche i bordi dei grani risultano ben protetti. Inoltre lo strato se viene rovinato meccanicamente si ripristina spontaneamente in brevissimo tempo, e perciò il metallo risulta in pratica sempre ben protetto.

Di conseguenza l' anodizzazione del titanio non serve per migliorare la sua resistenza alla corrosione; è utilizzata, viceversa, per ottenere colorazioni dovute a interferenza della luce, che possono servire o per il controllo delle superfici o per oggetti artistici.

Per effetto della perenne presenza di strati di ossido, il metallo presenta un potenziale di pitting, cioè un potenziale di rottura dello strato e di innesco di piccole cavità superficiali estremamente elevato (10 V), che non si raggiunge mai in condizioni normali di impiego. Perché questo potenziale si riduca fino a circa 1-1,5V, ancora superiore a quello di un acciaio inox in condizioni normali, sono necessarie alte temperature, e presenza di fluoruri o bromuri. In ambienti ossidanti dunque il titanio resiste eccezionalmente bene, sebbene abbia qualche problema in presenza di fluoruri e di acido ossalico. In ambienti riducenti invece, il metallo non può resistere a lungo.

In ambienti normali e a temperatura ambiente, il titanio non è sede di pitting; ciò è un vantaggio ad esempio negli scambiatori di calore in impianti ove si effettuano operazioni contro il biofouling, poiché è possibile clorare l'acqua senza problemi se si usa il titanio.

Il metallo può viceversa essere soggetto alla cosiddetta corrosione in fessura, poiché in mancanza di ossigeno, se lo strato ossidato viene asportato può non riformarsi; però perché si ripristini sono sufficienti tracce di ossidanti. Ad esempio negli scambiatori di calore tracce di ioni rame provenienti dalla corrosione delle piastre tubiere in lega di rame, garantiscono immediatamente una inibizione di questo tipo di corrosione del titanio.

Un fattore particolarmente importante del comportamento corrosionistico dei metalli è il loro stato superficiale.

In particolare la loro contaminazione con impurezze, ad esempio il carbonio contamina le lamiere di ferro, ed il rame e spesso provoca corrosione localizzata su questi metalli.

Con il titanio l'unica contaminazione temibile e che dà qualche inconveniente, è quella del ferro, risultante da lavorazioni meccaniche. Sotto questo aspetto l'anodizzazione è utile perché può eliminare le tracce di ferro superficiale, e rendere il metallo più pulito.

Una particolare attenzione deve essere posta al comportamento delle coppie galvaniche che si formano quando si collega elettricamente il titanio con un altro metallo.

Se una struttura non è costruita interamente in titanio, quest'ultimo diviene sede di reazioni catodiche che provocano la corrosione del metallo accoppiato; perciò se una grande superficie di titanio è collegata con una piccola area di un altro metallo, questo è indotto a veloce corrosione perché le correnti catodiche sono elevate.

In verità sono due aspetti del fenomeno, uno è l'effetto di cui si è detto e l'altro è l'effetto sul titanio dello stato di polarizzazione cui si porta la coppia galvanica. In certe zone, il potenziale intermedio tra quello del titanio e quello del metallo con cui è accoppiato, può condurre alla scomparsa dello strato passivante.

Mentre nel caso di altri metalli, come ad esempio per l'alluminio anodizzato, questo fenomeno si verifica frequentemente, con il titanio le probabilità che accada sono molto scarse.

In ultimo è noto che le leghe, da un punto di vista corrosionistico, presentano alcuni problemi: infatti mentre il titanio resiste molto bene alla corrosione, se lo si usa in lega con altri elementi per ottenere materiali con peculiari proprietà meccaniche, questi possono avere una resistenza alla corrosione minore del metallo puro.

In questo caso, si aggiungono in lega, altri elementi allo scopo di compensare la diminuita resistenza alla corrosione. Il vanadio, per esempio, nella lega titanio-alluminio compensa largamente l'effetto dell'alluminio che da solo diminuirebbe la resistenza alla corrosione.

Si sono fabbricate anche leghe che resistono bene in ambienti riducenti (Ti-Ta e Ti-Mo).

Come per molti aspetti della metallurgia fisica delle leghe così per la corrosione rimangono ancora ampi spazi di ricerca che debbono essere esplorati per comprendere a fondo il comportamento di questo eccezionale metallo.

Sig. G. Lualdi (LIMA, LIMA LTO, TTF, SEIPI)

"15 ANNI DI ESPERIENZE NELLE LAVORAZIONI E APPLICAZIONI INDUSTRIALE DEL TITANIO"

Questo intervento descriverà in breve circa 17 anni di esperienze nelle lavorazioni del titanio, esperienze incominciate intorno al 1967 attraverso la produzione di manufatti.

Attualmente rappresento cinque società, di cui sono presidente e tecnico.

Una di queste è la LIMA S.p.A. di Udine, società specializzata nello stampaggio a caldo del titanio, successive lavorazioni meccaniche e fucinatura di particolari.

Un'altra è la TTF S.p.A. di Udine ed esegue trattamenti termici su questi manufatti.

Un'altra ancora si chiama LIMA LTO, è specializzata nella produzione di arto-protesi per corpo umano realizzate in titanio e in leghe di titanio.

Rappresento inoltre un'azienda commerciale con deposito, la SEIPI di Milano, di cui mi avvalgo per l'importazione, lo stoccaggio e l'esportazione di manufatti.

Per ultimo, rappresento la società SPERRI a cui viene demandata, dall'intero gruppo, la ricerca e la sperimentazione. Questo gruppo di aziende sono a disposizione di chiunque ne abbia bisogno, in Italia, per produrre manufatti in titanio.

Il relatore precedente ha descritto un ventaglio di utilizzazione del titanio: dalle centrali nucleari, alle protesi ortopediche, alle macchine da corsa etc. Con la mia relazione farò dei rapidi flash su ciò che abbiamo fatto in Italia per le applicazioni industriali del titanio e sui settori in cui questa nostra esperienza ha trovato sbocco.

Principale, in assoluto, è il settore aerospaziale. L'Italia non è una grande produttrice di aeromobili, però dividendo in due parti il settore ad ala fissa e ad ala rotante, esiste un'ottima produzione di elicotteri in cui hanno trovato il loro impiego manufatti di titanio.

E' inutile soffermarsi sulle caratteristiche del titanio; il peso specifico è 4,5 quindi molto basso rispetto agli acciai, le proprietà meccaniche sono notevoli, e paragonabili a quelle di un ottimo acciaio da costruzione. Queste eccezionali caratteristiche che fanno sì che siano preferibilmente costruiti in titanio tutti i particolari sollecitati in cui l'inerzia ha un valore non indifferente, come ad esempio le parti rotanti di rotor.

Per quanto riguarda l'ala fissa, sono di nostra produzione tutti i componenti meccanici, guide a flaps alari, parti di atterraggio del carrello, comunque tutti particolari fortemente sollecitati.

Noi diamo questo servizio alle industrie aeronautiche, principalmente riunite sotto l'Aeritalia, che costruisce aerei civili e militari in Italia. Ovviamente, per noi è stato significativo il programma HRCA, il cosiddetto Tornado, il velivolo trinazionale Europeo (l'Italia partecipava alla produzione), in cui per la prima volta sono stati utilizzati manufatti, stampati e lavorati di titanio.

Un altro settore importante in cui si utilizza il titanio è quello automobilistico.

L'Italia è presente nel campionato mondiale con parecchie vetture, a partire dalla Ferrari per finire alla Alfa Romeo, alla Osella, alla Minardi; questi teams che producono i motori sono debitori un pò anche della nostra esperienza: per le bielle, per le parti in movimento, per i mozzi ruota, per pinze freno, per le molle sulle sospensioni.

Il titanio comunque, non è utilizzato soltanto per le auto di Formula Uno ma anche per quelle da rally, nel settore motociclistico e nei motoscafi da competizione che richiedono motori molto potenti.

Nel caso di un motoscafo d'altura, anche lo scafo è costruito in titanio, grazie alla resistenza e alla leggerezza ottenuta con l'utilizzo dei lamierati.

Per quanto riguarda le barche a vela, il titanio compare nello scafo e in tutte le masse sospese; infatti, l'albero di una vela deve essere controbilanciato da una chiglia e da una deriva e quindi meno peso vi sarà in cima all'albero e minor peso vi sarà su una deriva.

Una barca da vela inoltre, è sottoposta a notevoli stress e da ciò risulta che l'impiego del titanio nelle imbarcazioni da regata è molto importante non solo per le sue caratteristiche di leggerezza ma anche per le sue qualità meccaniche.

Nel settore sportivo abbiamo lavorato, ad esempio, per l'alpinismo; gli scalatori hanno bisogno di attrezzi, martelli, chiodi etc. molto robusti e resistenti. Con il titanio, a queste caratteristiche, si aggiunge la notevole leggerezza del materiale e tutto ciò è un grande vantaggio per gli alpinisti. Ci si è dedicati anche al settore ciclistico, grandi esperienze su telai ed accessori per biciclette da corsa e da turismo. Infatti, costruendo in titanio il perno centrale che regola il movimento dei pedali, si può risparmiare quasi il 50% di peso; per i telai, invece, vi sono problemi di elasticità, eccessiva per biciclette sportive e da turismo.

Il titanio trova impiego in campo militare e anche in questo settore abbiamo una notevole esperienza: vi è un'applicazione vera e propria del titanio nei proiettili.

Attualmente, negli armamenti, si usano le spolette di prossimità; infatti quando si spara un proiettile, la spoletta deve farlo scoppiare vicino all'obiettivo, che viene colpito e distrutto dalle schegge. Per creare queste schegge vi sono tanti sistemi, sfere di carburi o tungsteno, ma anche barrette di titanio, inserite nella parte esplosiva del proiettile.

I cannoni moderni di cui l'Italia è una grande produttrice, sono delle macchine estremamente sofisticate che riescono a sparare dai 100 ai 150 colpi al minuto, sono servoassistite e necessitano di meccanismi complessi per poter caricare in tempi brevissimi il colpo, scaricare il bossolo e caricare il nuovo colpo. Tutte queste operazioni devono essere velocissime e poiché entra in gioco l'inerzia, è importante costruire i meccanismi di caricamento, con materiale leggero, ad esempio il titanio, per avere più cicli al minuto, e quindi movimenti rapidi.

Abbiamo sviluppato le nostre esperienze più determinanti nel settore medico: in questi ultimi venti anni siamo riusciti a risolvere moltissimi problemi creati dall'artrosi come malattia, artrosi post-traumatica, cioè derivata da incidenti, costruendo delle arto-protesi interne che sostituiscono le articolazioni; le più diffuse sono protesi di femore, d'anca e di ginocchio.

In medicina, si impiega il titanio per gli stessi motivi per cui si utilizza in meccanica: basso peso specifico, inattaccabilità da parte degli acidi o dei liquidi organici, ottima resistenza a fatica.

Attualmente dunque, chi si occupa dei problemi di biomeccanica si sta orientando verso l'utilizzo delle leghe di titanio o del titanio puro.

Sempre nel settore medico, vi sono i pace-makers; noi abbiamo realizzato l'involucro degli stimolatori cardiaci in titanio.

Abbiamo risolto, inoltre, problemi di imbutitura profonda lavorando con lamiere da 0,4 - 0,3 - 0,2 mm di spessore riuscendo ad ottenere imbutiture profonde 50-60 mm e con una larghezza di spessore di 4-5 mm; ciò dimostra che anche il titanio puro, a spessori abbastanza contenuti, è imbutibile e si possono avere gli stessi risultati ottenuti con gli acciai inossidabili.

Un cenno alla dentistica: le protesi dentarie vengono realizzate in titanio.

Vi sono altri settori di cui abbiamo esperienza: tessile ed alimentare; anche in questi casi si hanno macchinari che lavorano a velocità piuttosto sostenute, come i telai e le macchine per inscatolare i cibi, quindi è richiesto un materiale leggero e con una resistenza meccanica elevata. Inoltre, per l'industria alimentare, si ha bisogno di un materiale non ossidabile e biotollerabile. Per ultimo, c'è il settore dell'oggettistica, orologi ed accendini; da anni si trovano sul mercato orologi con cassa in titanio soprattutto per uso subacqueo, che uniscono alla leggerezza un effetto estetico non indifferente.

Per quanto riguarda l'ultima parte dell'intervento, la lavorazione e il trattamento del titanio, si può dire non abbiamo trovato grandi difficoltà ma bisogna fare una distinzione tra le lavorazioni e i trattamenti non convenzionali e le lavorazioni e i trattamenti convenzionali.

Tra i metodi non tradizionali si ha il laser; il titanio può essere tagliato e sagomato tranquillamente con i laser attuali, con i quali si possono fare anche delle microlavorazioni superficiali.

Un altro sistema di lavorazione da noi impiegato è quello denominato ECM che è una erosione elettrochimica.

Il sistema ECM permette con una particolare attrezzatura, di ottenere la forma desiderata dell'oggetto con un controstampo, usando un polo negativo e un polo positivo e scaricando 80-100 A/cm²; si ha in tal modo, una asportazione del materiale. Questo processo è contrario a quello della elettrodeposizione, e si adatta bene al titanio, materiale perfettamente lavorabile.

Sempre nel caso dei trattamenti non convenzionali, l'ultimo che abbiamo messo a punto è la nitrurazione ionica, che è nata come protezione superficiale all'attrito. Esistono già da alcuni anni in commercio utensili rivestiti con nitruri o carburi di titanio, e si riconoscono da una colorazione giallo oro. Noi abbiamo adottato questo sistema sulle parti di titanio, quindi si è rivestito il titanio stesso, e ciò ci ha permesso di risolvere uno dei grossi problemi del titanio, quello dell'attrito. Infatti il titanio non si presta assolutamente ad essere accoppiato con altri materiali; perciò bisogna sempre avere delle interfacce e dei riporti con interposizione di altri materiali: con la nitrurazione ionica del titanio, si raggiunge una durezza superficiale attorno ai 1.800 Vickers. Oltre alla nitrurazione ionica, vi sono altri sistemi che evitano il problema di attrito del titanio con altri materiali; ad esempio, i riporti di molibdeno o di materiali ceramici, a spruzzo.

L'ossidazione chimica ha due scopi: uno estetico per colorare il titanio, (si va dall'azzurro intenso, bleu fino al giallo), e l'altro per controllo di qualità.

Se vi sono stati nei processi industriali precedenti delle inclusioni di materiale, dovute agli utensili impiegati, l'ossidazione li rileva perfettamente, quindi è possibile controllare la qualità del titanio in esame.

Per quanto concerne i sistemi di lavorazione tradizionali c'è poco da dire; è meglio disporre di macchine a controllo numerico, di dimensioni adeguate e il responsabile troverà, più o meno, le stesse difficoltà che trova nella lavorazione di acciai inossidabili.

Il titanio un materiale molto tenace, che non sopportando bene l'attrito con gli utensili che si usano per lavorarlo tende ad attaccarsi al tagliente dell'utensile stesso; quindi, si devono rispettare le norme degli acciai inossidabili. Sono indispensabili macchine ovviamente rigide, non soggette a vibrazioni per ottenere delle ottime finiture.

Problemi notevoli insorgono nelle rettifiche, ovviamente sconsigliate perché l'abrasivo che si usa per rettificare tende a conglobarsi con il titanio stesso.

E' opportuno spingere all'estremo tutte le lavorazioni e asportazioni a truciolo, in qualsiasi modo siano fatte, prima di rettificare e quindi è necessario, se possibile, trovare sistemi di finitura al di fuori della rettifica vera e propria.

Il titanio non dà particolari problemi per quanto riguarda la elettroerosione.

Anche i trattamenti termici sono eseguiti senza difficoltà e in tal modo è possibile cambiare o modificare in parte la struttura del materiale e quindi le caratteristiche dello stesso.

Per riuscire ad estendere l'impiego del titanio a tutte le applicazioni di cui si è parlato, si deve superare un solo problema, e cioè il rapporto tra il prezzo e l'efficacia. Oggi la materia prima è ancora troppo cara per giustificarne l'utilizzo in oggetti banali, per cui non è indispensabile un materiale pregiato; però se il rapporto prezzo / efficacia diminuirà allora l'impiego del titanio potrà essere esteso a qualsiasi settore.

Dott. E. Olzi (CNR - Milano)

"ESPERIENZE DEL CNR NELLA METALLURGIA DEL TITANIO.
SUPERCONDUTTIVITA' "

Il nostro Istituto ha iniziato ad occuparsi di titanio alla fine degli anni '60 e all'inizio degli anni '70; è stata infatti organizzata a cura dell' Istituto una giornata sul titanio, alla FAST, nel 1972.

In tale periodo l'Istituto ha condotto parecchi studi sul titanio e sue leghe per applicazioni in materiali strutturali: sono stati fatti studi sulla ossidazione a caldo, sulla corrosione sotto sforzo, e sulla corrosione in fessura. Attualmente il nostro Istituto si occupa ancora di titanio, in due diversi settori: uno è il settore relativo ai materiali a memoria di forma, costituiti principalmente da leghe di nichel-titanio e l'altro riguarda materiali superconduttori.

Perciò che concerne i materiali a memoria di forma (leghe Ni-Ti), l'Istituto è in grado di produrre in via sperimentale lingotti di questa lega e di studiare il loro comportamento alla temperatura di transizione.

L'altro settore di cui ci occupiamo, invece, non riguarda materiali strutturali, sia pure in senso lato, bensì fibre superconduttrici e più in particolare, quelle a base di leghe niobio-titanio.

Queste leghe hanno applicazione industriale solo da poco tempo, e ciò è dovuto ad un certo disinteresse da parte dell'industria ai nuovi materiali e alle novità, disinteresse che si è verificato in passato per il titanio e più recentemente anche per la superconduttività.

Comunque attualmente si hanno già applicazioni pratiche delle fibre superconduttrici: infatti esiste una tecnica che dal punto di vista medico è eccezionale; si tratta della tomografia a risonanza magnetica nucleare a scopo diagnostico.

Tale tecnica offre possibilità relevantissime sia dal punto di vista della risoluzione delle immagini ottenibili rispetto al TAC tradizionale a raggi X, sia per la minore dannosità per il paziente; tale nuova tecnica si sta sviluppando notevolmente ed utilizza, nella maggior parte dei casi, magneti superconduttori.

Il magnete principale all'interno del quale viene posizionato il paziente è molto spesso un magnete superconduttore di grandi dimensioni, (foro utile ~ 60 cm e lunghezza ~ 2 m) avvolto con fibre a base di lega niobio - titanio.

Le fibre in lega niobio-titanio non sono i soli superconduttori esistenti ma, senza dubbio, sono gli unici usati per scopi pratici e senz'altro i più diffusi.

Il fenomeno "superconduttività" è noto fin dal 1911, anno in cui H.K. Onnes trovò che alcuni metalli, a temperature bassissime, perdevano di colpo la loro resistenza elettrica.

La temperatura a cui avviene tale transizione, detta temperatura critica (T_c) è riportata nella tabella in fig. 1: come si osserva, il niobio detiene il primato con i suoi 9,46°K.

Lo stesso Onnes provò ad avvolgere un filo costituito da un metallo puro e produsse un solenoide allo scopo di produrre un magnete superconduttore; tale esperienza, però non ebbe successo e fu invece riscontrato che il campo magnetico, anche debole, portava all'estinzione delle proprietà superconduttrici.

Studi più recenti hanno reso possibile la realizzazione di materiali resistenti a campi magnetici anche molto elevati: oltre al già citato niobio-titanio, si hanno a disposizione cavi in fibre in Nb-Ti-Ta, a base di composti intermetallici di tipo A-15 (Nb_3Sn , Nb_3Al , V_3Ga , Nb_3Ge , ecc.) e nuovi materiali stanno emergendo, quali le "Fasi di Laves", "Fasi di Chevrel".

Come dicevamo, le leghe Nb-Ti sono senza dubbio il materiale più usato per la fabbricazione di cavi superconduttori adatti per l'avvolgimento di magneti in grado di produrre un campo utile fino ad 8,5 Tesla.

Con materiali più sofisticati sono stati realizzati in Giappone e in Europa, magneti superconduttori per campi utili fino a 17 Tesla.

Vediamo ora come viene prodotta e lavorata la lega Nb-Ti; non tratteremo qui per brevità tutte le fasi di lavorazione plastica per arrivare al cavo superconduttore, ma solo le fasi iniziali di preparazione della lega.

**TEMPERATURE E CAMPI MAGNETICI CRITICI DI
- ALCUNI ELEMENTI SUPERCONDUTTORI**

| Elementi | $T_c (^{\circ}K)$ | $H_c (\text{tesla} \cdot 10^4)$ |
|-------------------|-------------------|---------------------------------|
| Alluminio | 1.19 | 99. |
| Cadmio | 0.56 | 30 |
| Gallio | 1.09 | 51 |
| Indio | 3.404 | 293 |
| Iridio | 0.14 | ~20 |
| Lantanio α | ~5 | - |
| Lantanio β | 6.0 | 1600 |
| Piombo | 7.18 | 803 |
| Mercurio α | 4.153 | 411 |
| Mercurio β | 3.95 | 340 |
| Niobio | 9.46 | 1944 |
| Osmio | 0.66 | 65 |
| Renio | 1.698 | 198 |
| Tantalio | 4.482 | 830 |
| Tallio | 2.39 | 171 |
| Torio | 1.37 | 162 |
| Stagno | 3.722 | 309 |
| Titanio | 0.39 | 100 |
| Tungsteno | 0.012 | 1070 |
| Uranio α | 0.68 | ~2000 |
| Uranio β | 1.80 | - |
| Vanadio | 5.414 | 1370 |
| Zinco | 0.875 | 53 |
| Zirconio | 0.546 | 47 |

Fig. 1

L'obiettivo finale, comunque è il cavo per l'avvolgimento di magneti, mostrato in fig. 2 in cui è visibile la sezione trasversale di una fibra superconduttrice, realizzata nel nostro Istituto, a base di fibre in lega niobio-titanio inglobate in rame; il diametro esterno di tale cavo è di 0,4 mm e, di conseguenza, le fibre in lega niobio-titanio hanno il diametro di circa 30-40 micron.

Poiché la lega niobio-titanio è molto duttile si possono ottenere spezzoni di questi cavi lunghi molti chilometri senza eccessivo pericolo di rottura delle fibre.

In fig. 3 si osserva un particolare ingrandito al microscopio a scansione della sezione trasversale di un cavo superconduttore.

Naturalmente, oltre a questi cavi, ne esistono altri molto più complessi, normalmente usati per avvolgere grossi magneti; in pratica sono degli insiemi di fibre assemblate su un tubo di rame, all'interno del quale circola l'elio liquido per il raffreddamento. In figura 4a è mostrato un cavo prodotto dall'Imperial Metal Industries: si vede dall'ingrandimento di fig. 4b che gli elementi superconduttori, costituiti da cavi di diametro 0,5 mm contenenti ciascuno 61 fibre in lega Nb-Ti, sono alternati con fili di rame. Questi cavi possono portare senza dissipazione di energia correnti di migliaia di Ampere in campi magnetici intensi.

Vediamo ora di descrivere brevemente la preparazione della lega Nb-Ti. Data l'estrema reattività dei componenti con i gas, durante la fusione il rischio di contaminazione della lega è molto elevato; si deve lavorare sotto vuoto o in atmosfere molto pure e perciò, possono essere utilizzati soltanto forni ad arco o a fascio elettronico; inoltre, data la reattività dei componenti ad alta temperatura con i materiali refrattari, la fusione deve avvenire in crogioli in rame raffreddati ad acqua.

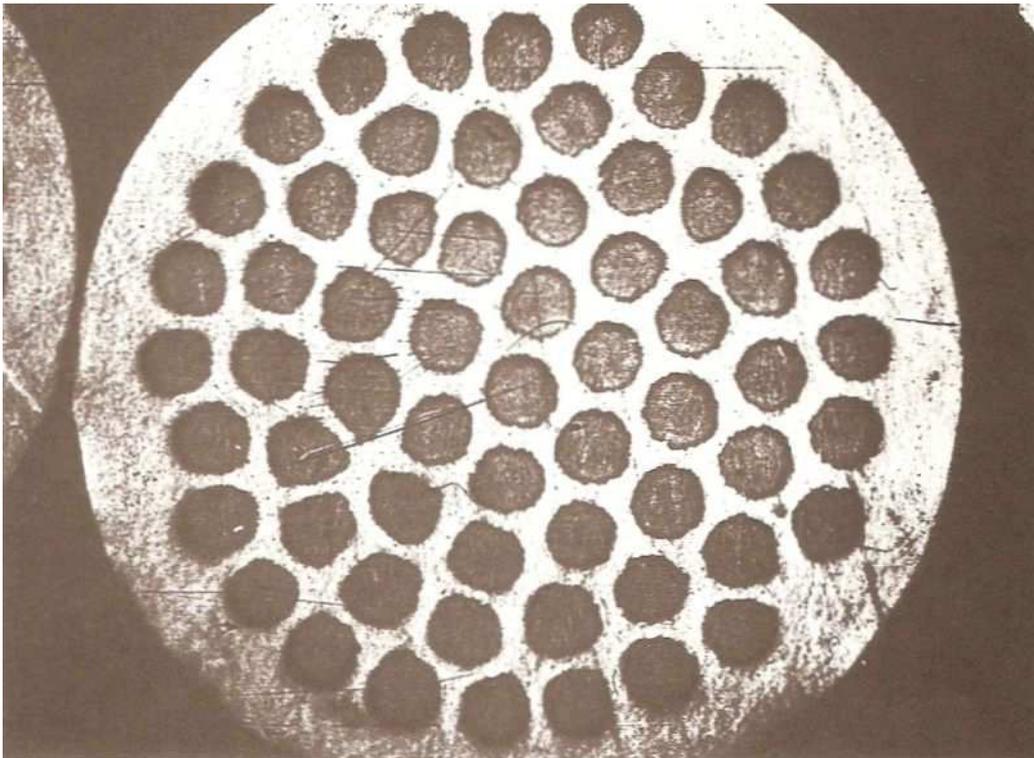


Fig. 2: sezione trasversale di fibra superconduttrice

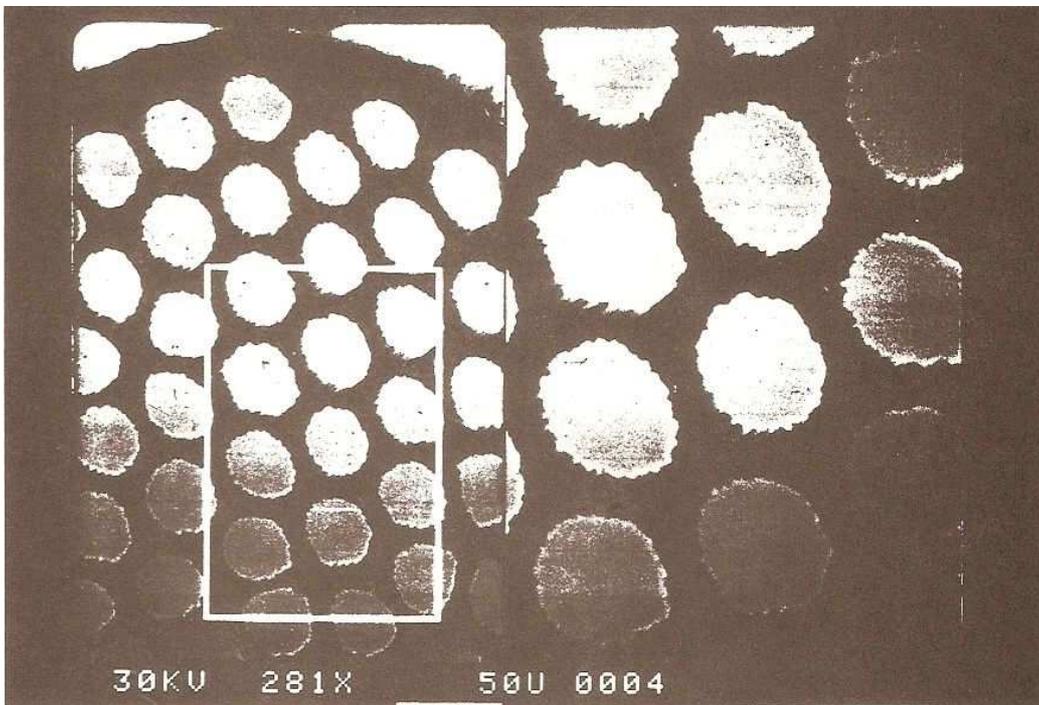


Fig. 3: particolare ingrandito

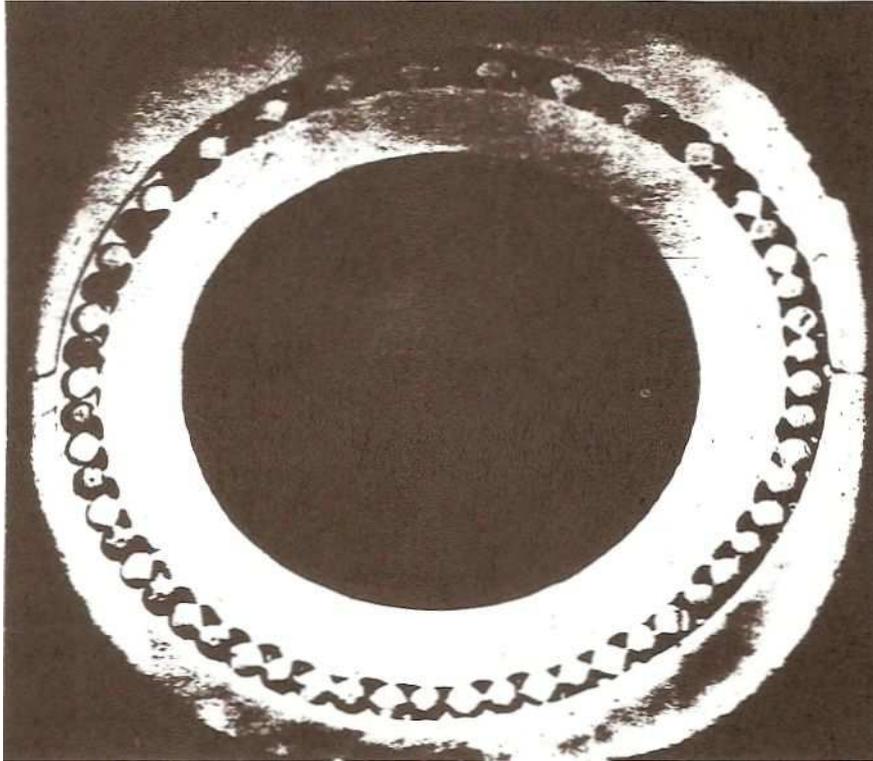


Fig. 4a: cavo dell'Imperial Metal Industries

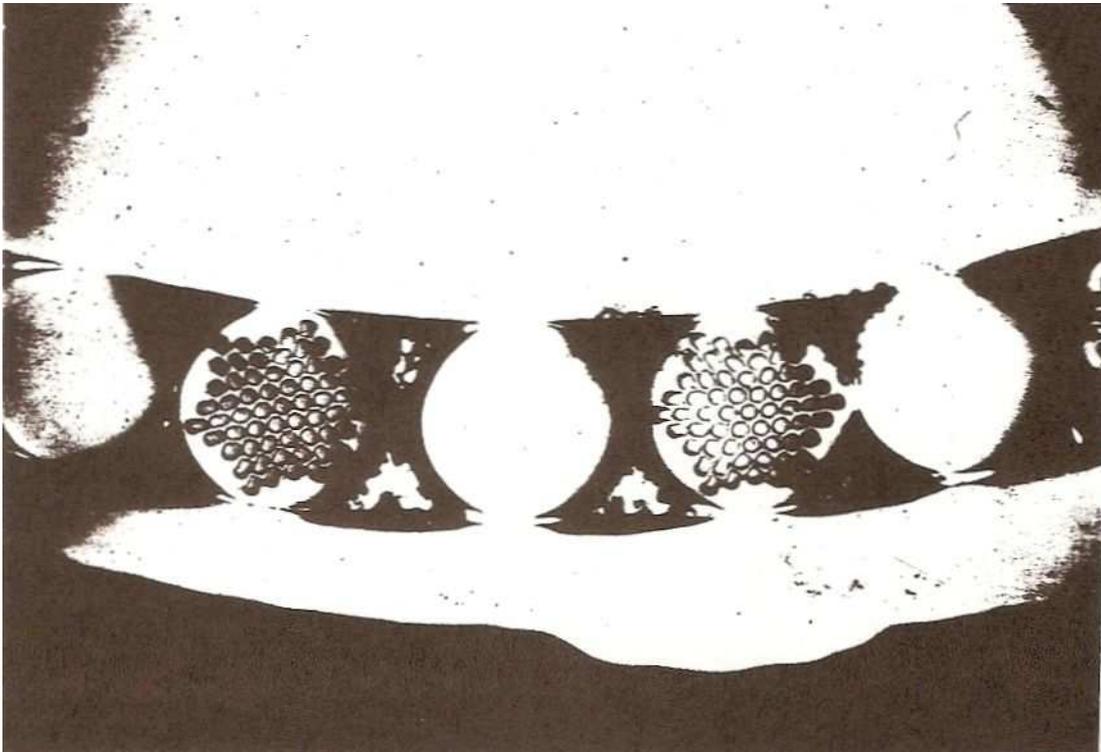


Fig. 4b: ingrandimento

La fig. 5 mostra lo schema di un forno ad arco ad elettrodo consumabile. L'elettrodo è costituito dal materiale da fondere e la massa, dopo fusione, è contenuta dal crogiolo freddo.

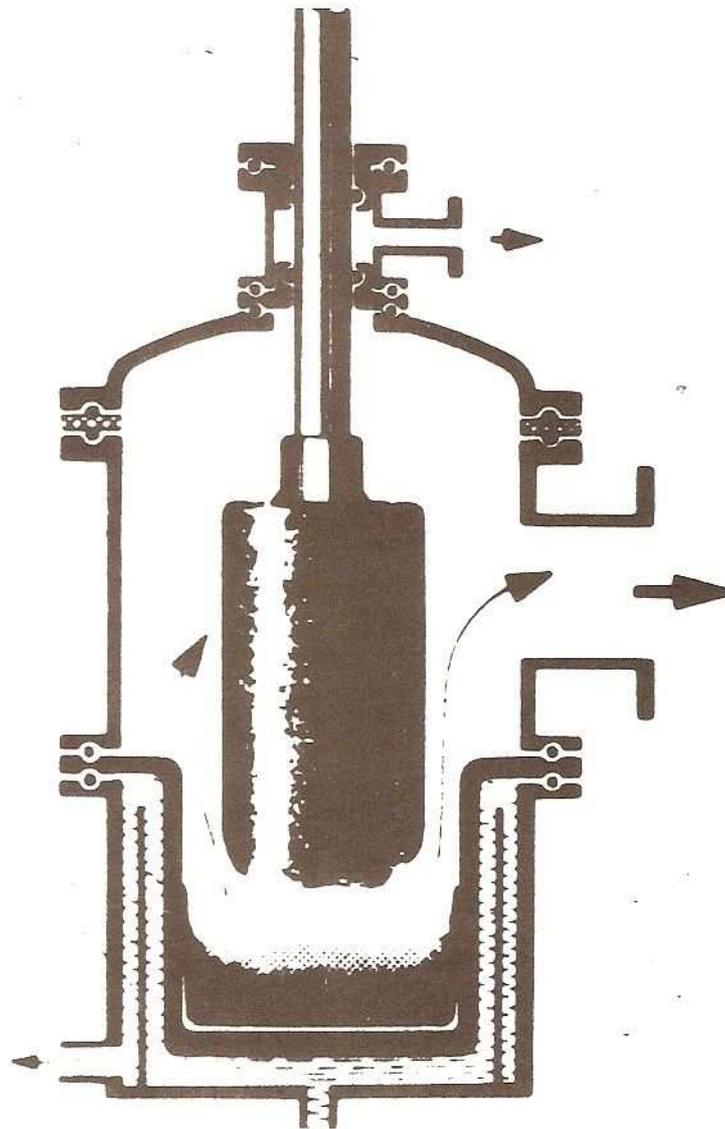


Fig. 5: schema di un forno ad arco

La fusione ad arco non presenta grosse difficoltà, a parte la produzione dell'elettrodo; la lega ottenuta con questo metodo è in genere meno pura dal punto di vista degli elementi interstiziali, cioè dell'ossigeno e dell'azoto, rispetto a quella ottenuta in un forno a fascio elettronico.

Per quanto riguarda il forno a fascio elettronico, il principio di funzionamento è molto semplice: esiste un emettitore di elettroni e un campo elettrico che si viene a stabilire tra l'emettitore di elettroni e la massa che costituisce l'oggetto da fondere; questi elettroni accelerati vengono focalizzati da lenti elettriche, come in un microscopio elettronico, e bombardano il bersaglio fondendolo (fig. 6).

In fig. 7 si vede il principio di funzionamento del forno a fascio elettronico in dotazione al nostro Istituto: esso è costituito dal cannone elettronico che produce un pennello di elettroni che lambisce la punta dell'elettrodo; le gocce fuse cadono nel crogiolo di rame sottostante e si ha quindi la crescita del lingotto. Naturalmente, il nostro forno è da laboratorio e di conseguenza per piccole quantità: il lingotto massimo ottenibile è di circa 40 mm di diametro e di 300 mm di lunghezza (fig. 8).

La fig. 9 riproduce una vista esterna del nostro forno a fascio elettronico, costituito dalla camera fusoria, dall'alimentatore e dalla cabina di comando.

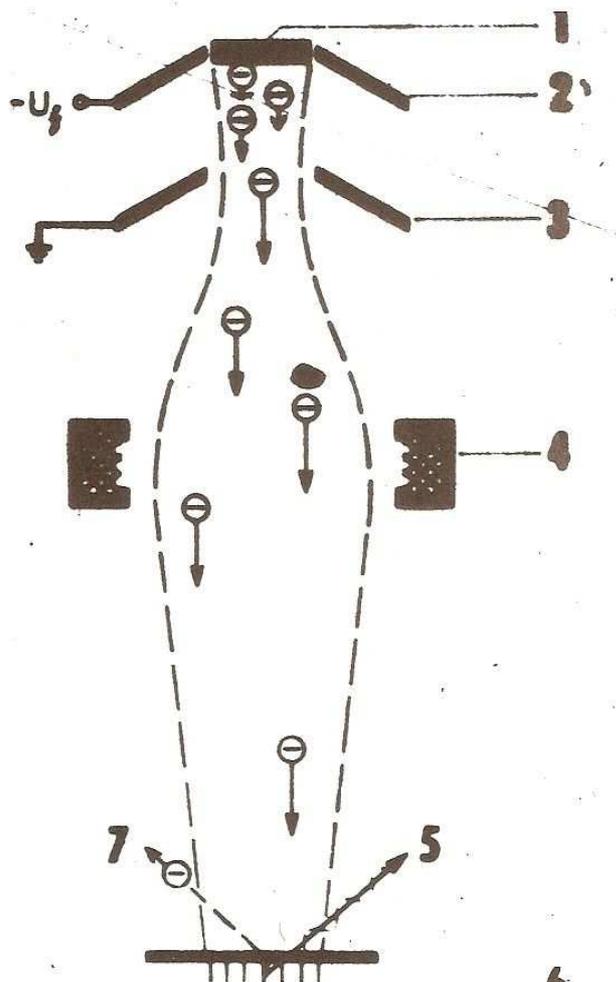


Fig. 6: forno a fascio elettronico

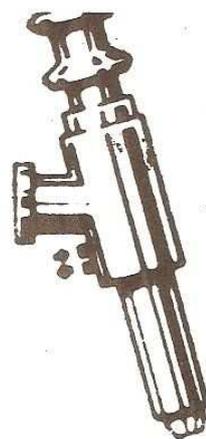
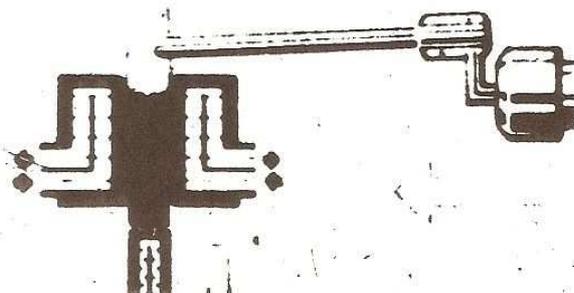


Fig. 7: principio di funzionamento



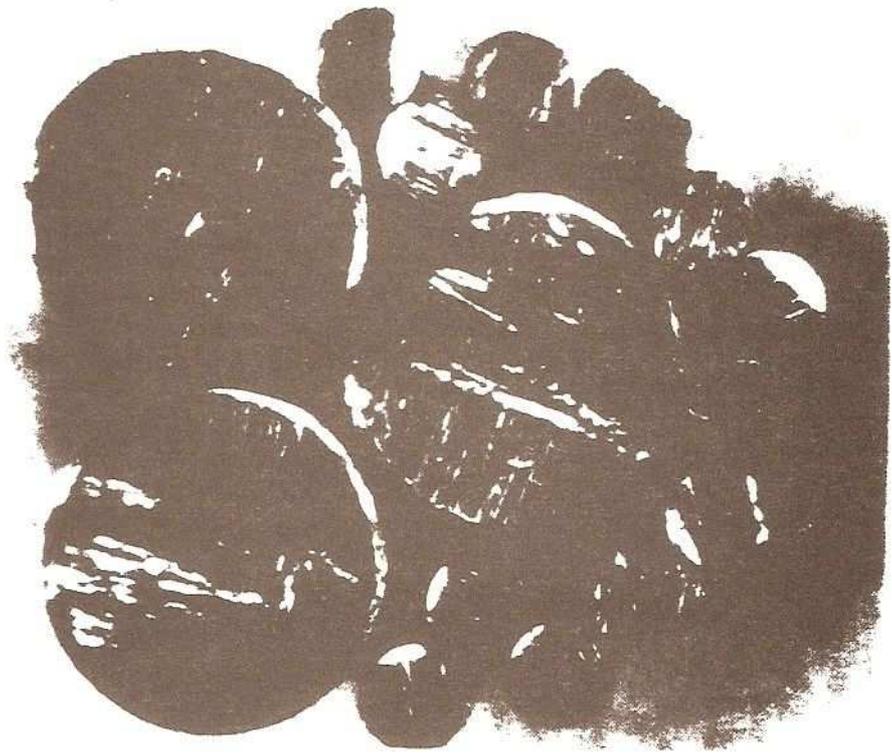


Fig. 8: lingotti

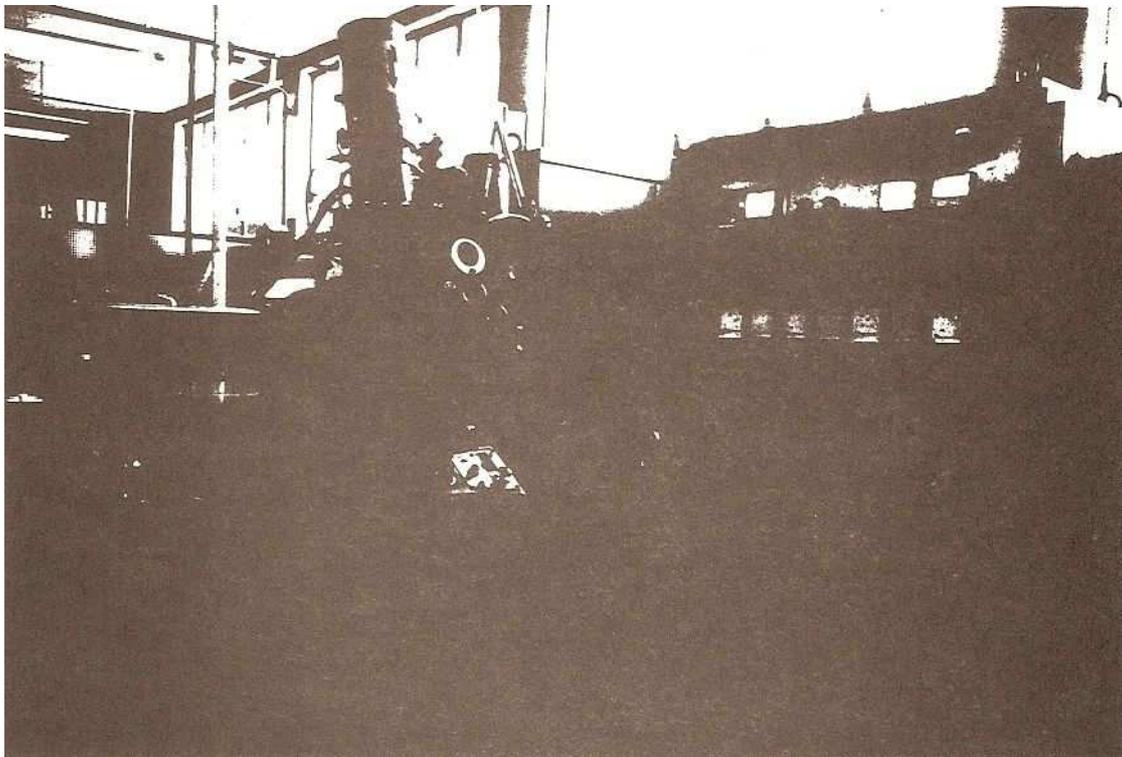


Fig. 9: vista esterna del forno a fascio elettronico

Poiché si fonde sotto vuoto si verifica una evaporazione del metallo a più alta tensione di vapore, nel nostro caso il titanio, e per minimizzare le perdite si deve ricorrere a sistemi particolari; uno di questi è l'uso di un elettrodo composito in cui il niobio, che è l'elemento più altofondente, viene messo nella parte superiore in modo tale che, bombardato dagli elettroni, fonda per primo, e sciolga il titanio: il tutto cade quindi nel crogiolo sottostante (fig. 10).

Mediante analisi alla microsonda sulla sezione trasversale di una goccia "congelata" prima della caduta nel crogiolo è stata riscontrata una discreta omogeneità del fuso già durante la prefusione; in fig. 11 è mostrata la goccia solidificata prima della caduta nel crogiolo.

Il lingotto ottenuto viene comunque rifuso per ottenere una migliore omogeneità e, dopo raffreddamento, estratto dal forno (fig. 12).

Il lingotto così prodotto è caratterizzato da elevato dendritismo: pertanto viene lavorato meccanicamente e poi trattato termicamente per ottenere una struttura interna adatta alla deformazione plastica a freddo. La fig. 13 indica da sinistra a destra, le micrografie del lingotto solidificato con grossi grani, del laminato con le classiche striature e dopo ricottura.

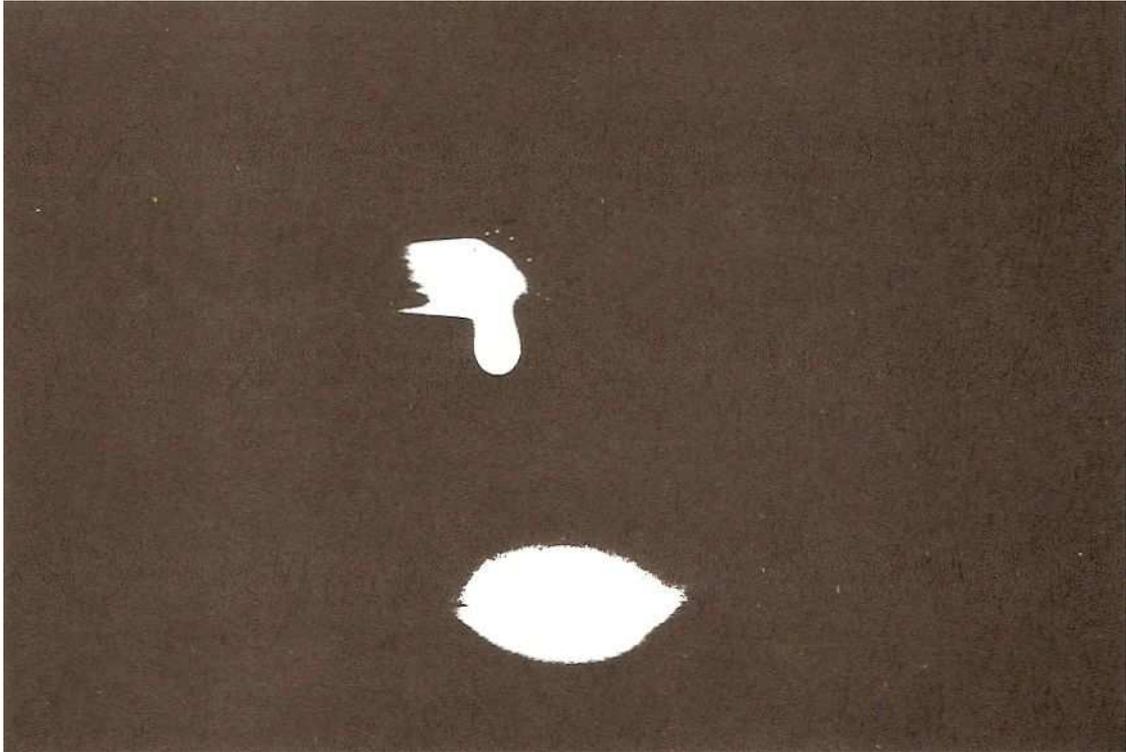


Fig. 10: fusione di un elettrodo

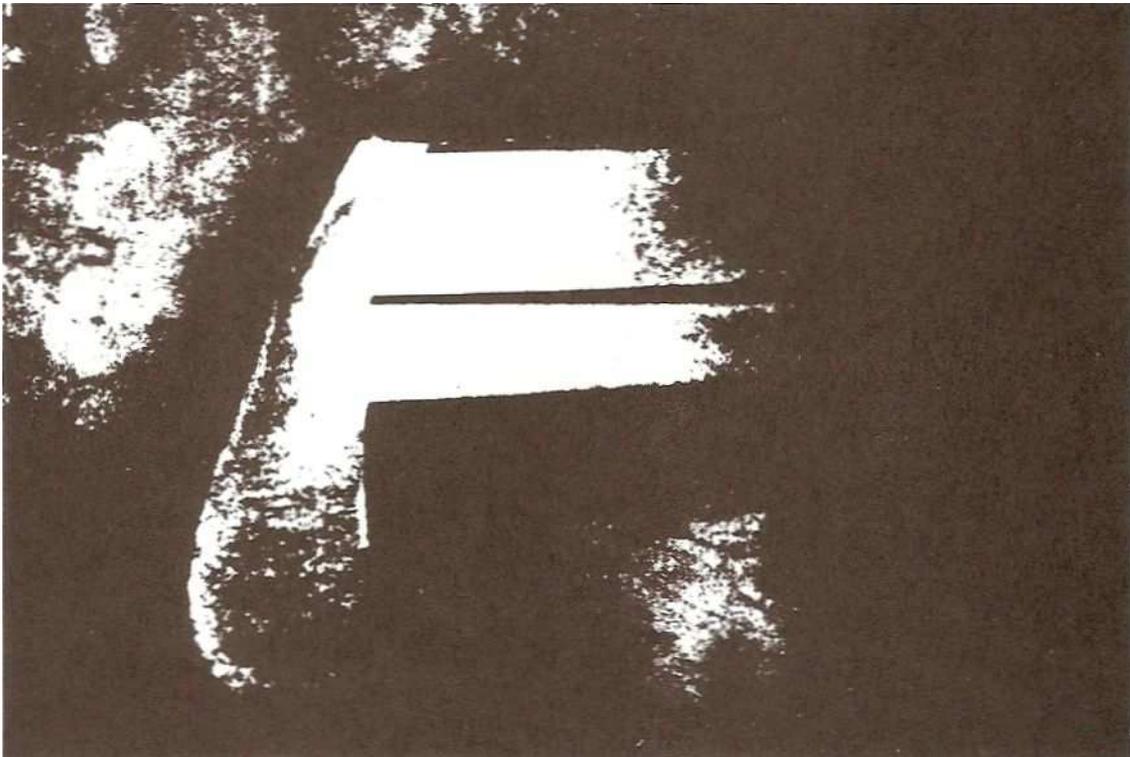


Fig. 11: goccia solidificata prima della caduta nel crogiolo

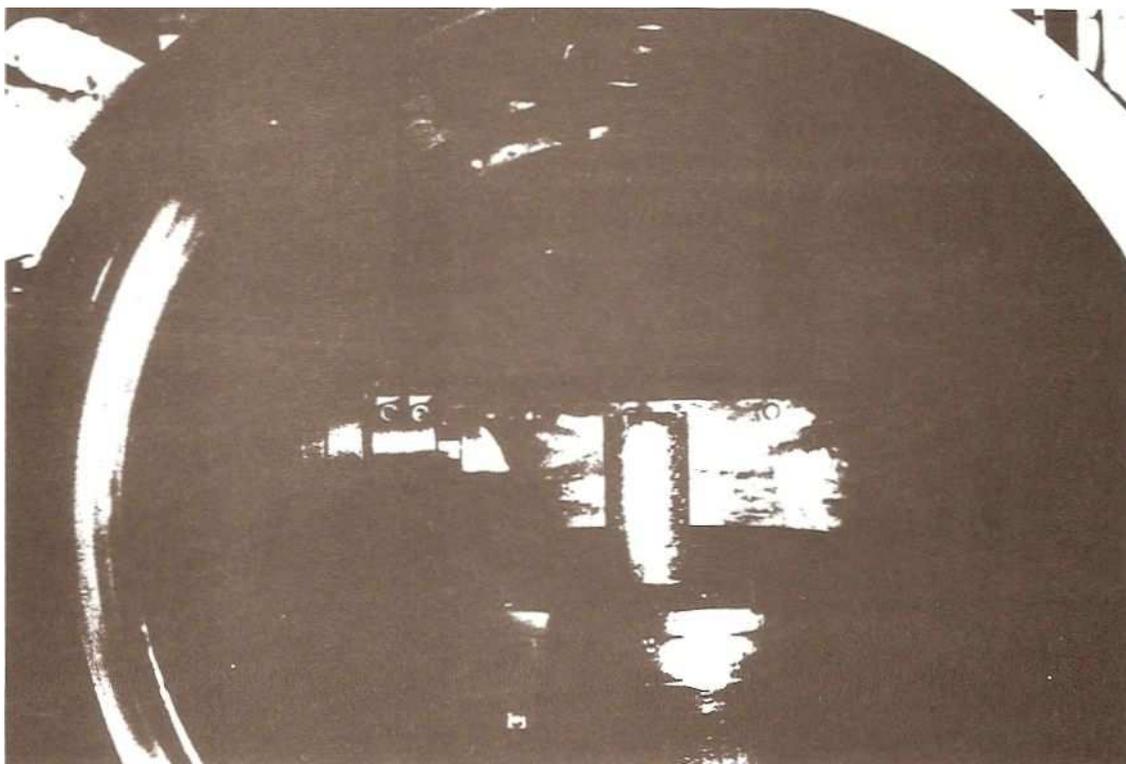


Fig. 12: lingotto ottenuto dopo rifusione e raffreddamento

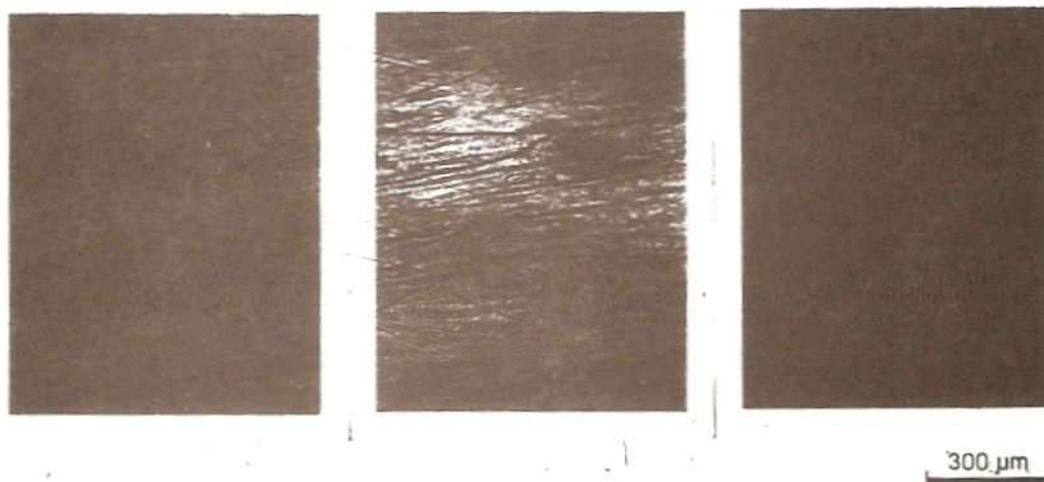


Fig. 13: micrografie

Per quanto riguarda le applicazioni principali dei superconduttori, attualmente si ha la già citata risonanza magnetica nucleare per scopi diagnostici; fra le applicazioni più prossime nel futuro è prevista la magneto-idrodinamica (MHD), cioè una separazione di cariche per mezzo di dipoli superconduttori per ottenere corrente elettrica ad altissimo rendimento. Con un MHD abbinato ad un impianto tradizionale si può arrivare ad un rendimento elettrico superiore al 60%, impensabile per gli impianti tradizionali. Sempre come applicazione futura dei superconduttori si può pensare alla fusione nucleare controllata; forse nel 2040-2050 si potrà usufruire di energia derivante da fusione nucleare controllata. Tale applicazione è classica per la superconduttività in quanto il contenimento magnetico dei plasmi con magneti resistivi richiederebbe una tale quantità di energia che il bilancio energetico risulterebbe nullo, se non negativo.

Nel settore dei trasporti, i giapponesi e gli europei stanno sperimentando dei treni che possono viaggiare in levitazione magnetica a velocità molto elevate; il record attuale, se non è stato superato, è di 540 km/h in completa assenza di rumore e con dispendio energetico limitato, grazie ai magneti superconduttori.

I superconduttori inoltre troveranno sicuro impiego nei molti processi coinvolgenti la separazione magnetica.

Il titanio quindi ha un ruolo fondamentale nelle fibre superconduttrici essendo uno dei componenti della lega niobio-titanio che è oggi la più usata nel campo della superconduttività; per quanto concerne il futuro, inoltre, si prevede che, per l'ottenimento di campi magnetici fino a 6-8 Tesla, ben difficilmente la lega Nb-Ti verrà sostituita con altri materiali.

"IL TITANIO NELLE APPLICAZIONI NAVALI"

La principale caratteristica del titanio e sue leghe, elevato rapporto resistenza a rottura o snervamento/peso specifico, ha attratto l'interesse dei progettisti navali fin dagli anni '50.

Peraltro l'elevato costo e le difficoltà sulle lavorazioni ne hanno frenato l'impiego in vasta scala su costruzioni convenzionali, limitandolo in genere a quelle applicazioni per le quali le sue caratteristiche pongono i costi in secondo piano.

In queste note si riporta un flash sui tipi di lega impiegati e sulle principali applicazioni relativi all'ambiente marino, note che non derivano da una esperienza diretta, ma da un panorama bibliografico presentato negli ultimi congressi dell'"International Ship Structure Congress".

Si tralascia di trattare argomenti quali sistemi di produzione, lavorazione, taglio saldatura, più autorevolmente trattati da altri presentatori.

L'ambiente marino richiede materiali che ad una elevata resistenza associno buona tenacità, buon comportamento alla corrosione e assenza di suscettibilità a corrosione sotto tensione.

Nella lega $Ti6Al2ClTa0,8Mo$ risultano associate tali caratteristiche per cui essa è stata impiegata dalla US Navy per la costruzione del sommergibile da ricerca ALVIN, costituito da sfera di 2,12 m di diametro e 76 mm di spessore. Trattasi di sfera realizzata mediante saldatura circonferenziale, con procedimento a fascio elettronico in camera di 12 m, di due semigusci ottenuti per forgiatura a caldo.

Il sistema di saldatura adottato è risultato particolarmente rapido (20 minuti) se si considera che un procedimento di saldatura convenzionale all'arco elettrico avrebbe richiesto 178 ore.

Il sistema di zavorra dello stesso sottomarino è stato realizzato in 15 sfere di 0,6 m di diametro in lega Ti6Al4V, fabbricate unendo con saldatura TIG forgiati emisferici sottoposti prima a trattamento di distensione.

Progettato per una profondità operativa di 1800 m, dopo 3 anni di servizio e circa 220 immersioni è stato sottoposto ad ispezione con esito soddisfacente non emergendo degradazione strutturale.

Leggero pitting è stato riscontrato su strutture in alluminio pitturate e pitting un po' maggiore in elementi contigui in acciaio inossidabile; pitting localizzato in vicinanza di tubi in titanio non pitturati. Nonostante l'elevato potenziale catodico degli elementi in titanio che non erano pitturati, la resistenza dell'alluminio pitturato è stata soddisfacente. Le parti in alluminio sono state comunque sostituite con altre in titanio.

Altra lega che si è dimostrata idonea per impiego marino è la Ti6Al4V ELI analoga alla precedente ma a bassissimo contenuto di elementi interstiziali. Essa è stata utilizzata nello stesso periodo per le sfere di zavorra di veicoli di ricerca sottomarina a forte profondità DSRV-1 e 2 sfere di diametro 0,61 m, spessore 10,7 mm.

In tali mezzi la lega è stata utilizzata anche per gli anelli di rinforzo e i sistemi di afferraggio.

La lega a basso contenuto di elementi interstiziali risulta particolarmente interessante per il suo migliore comportamento alla corrosione in acqua di mare.

Per quanto riguarda la corrosione per effetto dell'attrito dell'acqua di mare tali leghe hanno fornito risultati sostanzialmente coincidenti con quelli ottenuti in materiali quali Inconel 625 e lega 17-4PH.

Una positiva sperimentazione di questa lega è stata fatta nel 1974 con l'impiego negli alettoni stabilizzatori di aliscafi a idrogetto, sia per quanto riguarda la corrosione sotto tensione che galvanica anche in prossimità di componenti in alluminio.

La Boeing ha pertanto iniziato ad usare il titanio in via sperimentale in strutture di rinforzo ed a realizzare in lega di titanio i bracci degli aliscafi.

Per l'unione di queste strutture la Boeing preferisce alla saldatura il sistema meccanico a causa dei possibili problemi legati alla riparazione delle saldature in esercizio.

Analogamente la Boeing ha impiegato (1977) tale lega nei propulsori a getto dei loro SES-100A quantunque all'epoca della costruzione l'uso del titanio sia stato ritenuto troppo costoso.

Analogamente prevedeva di usare per i ventilatori di veicoli a cuscino d'aria la lega Ti6Al4V ELI date le sue migliori caratteristiche di tenacità sotto intaglio in ambiente corrosivo marino (K_{ISSC}) e migliore comportamento alla propagazione delle crine.

Per propulsori a getto era stato previsto l'uso anche di fusi in titanio puro.

Altri componenti prototipo in titanio hanno avuto positivo comportamento in servizio: principalmente corpi valvole, alberi di propulsione, timoni, eliche, palette per i primi due stadi di turbine di propulsione. Applicazioni queste su imbarcazioni di superficie ad alta velocità in cui esigenze di leggerezza sono predominanti.

Non risultano per tali applicazioni segnalazioni di non soddisfacente comportamento in servizio.

Per quanto riguarda l'impiego di titanio in altri paesi le notizie sono scarse.

Una lega al 5,75-6,75 Al, 3,5-4,5 V, Fe<0,4%, C<0,1%, N<0,07, O<0,25%, H<0,015% resto Ti è stata impiegata in Giappone per assi port'elica di siluranti veloci. Tale lega ha una resistenza a rottura di $\approx 90 \text{ kg/mm}^2$ e snervamento di 80 kg/mm^2 .

Viene segnalato inoltre che in Giappone è stato sviluppato soprattutto l'impiego di prodotti non sotto forma di lega. La lega Ti6Al4V è stata impiegata per assi port'elica di siluranti e aliscafi; altra applicazione su componenti di scambiatori di calore di batterie di raffreddamento.

Per l'Unione Sovietica, larga produttrice di titanio, le notizie sono scarse e gli usi citati riguardano batisfere e sottomarini, aliscafi e veicoli a cuscino d'aria per eliche, dischi, turbina, motori a idrogetto.

Per quanto riguarda infine il campo off-shore viene segnalato l'uso di leghe di titanio per la realizzazione dei manicotti di unione di elementi dei riser di piattaforma mobili.

Per quanto riguarda gli sviluppi futuri si segnala che per incrementare l'uso del titanio si intravedono due approcci: o migliorare ulteriormente le caratteristiche e l'affidabilità in modo da giustificare l'alto costo ovvero ridurre l'attuale costo con l'apporto di miglioramenti nei processi di produzione e lavorazione.

Occorre peraltro richiamare l'attenzione che all'aumentare del livello di prestazioni cui questi materiali sono sottoposti e l'alto grado di affidabilità richiesto, possono richiedere un approccio più affinato circa i criteri di controllo della frattura tenendo conto dei fattori quali la nucleazione di cricche di fatica, la velocità della loro propagazione, la dimensione ammissibile sia nella fase dei controlli iniziali che nella fase di ispezione e manutenzione in esercizio.

Ing. G. Orsello (EMG)

"LA PRODUZIONE ELETTROLITICA DEL TITANIO"

Il titanio è entrato da poco nell'industria, ma ha già conquistato uno spazio di applicazioni enorme e in continuo aumento per le sue proprietà.

Riserverò, nel mio intervento, particolare importanza al discorso del costo.

Noi sappiamo, innanzitutto, che il nostro Paese, e quasi tutta l'Europa, si trova in condizioni di dipendenza dai Paesi produttori. Una delle cause più importanti che hanno ostacolato la diffusione del titanio è proprio da ricercarsi nel costo di produzione esageratamente alto, in quanto si tratta di una tecnologia, quella per produrre il grezzo dalla materia prima, abbastanza obsoleta.

I processi produttivi che sono utilizzati correntemente sono processi chimici: la reazione del tetracloruro di titanio con il magnesio o con il sodio, tecnologie datate tra il 1910 e il 1940.

Soltanto la scala delle apparecchiature è stata aumentata in questi anni: dai primi reattori di pochi chilogrammi fino agli attuali di qualche tonnellata di prodotto.

Il metallo prodotto grezzo si presenta nella forma di granelli agglomerati, la cosiddetta spugna, che viene fusa in lingotti con la tecnologia di fusione ad arco sotto vuoto. Da questo punto in poi le tecnologie di produzione sono essenzialmente simili a quelle siderurgiche.

E' già stato detto più volte che non vi sono problemi per quanto riguarda la materia prima, geograficamente distribuita nei vari paesi, e stimata in 450 milioni di tonnellate di titanio contenuto; quindi, per un consumo, come quello attuale, di 100.000 ton/anno non si hanno certo difficoltà di approvvigionamento.

Non si correranno comunque rischi anche quando questo consumo arriverà alle 200.000 ton/anno, nella migliore delle previsioni, alla fine di questo secolo.

E' nostra opinione che il vero "collo di bottiglia", nell'industria del titanio, è la produzione del grezzo ossia proprio della spugna; le difficoltà e i costi di gestione degli attuali impianti di produzione sono notevoli trattandosi di un processo discontinuo, obsoleto e non più tecnologicamente migliorabile.

Noi pensiamo che sia necessario un nuovo processo, come è avvenuto in passato per l'alluminio, per produrre titanio a prezzo più basso in grandi quantità.

Il processo elettrochimico di produzione dell'alluminio infatti, sostituendosi al processo precedentemente in uso, ne ha fatto scendere il costo e ha dato un impulso enorme alla produzione di massa del metallo.

La nostra azienda, l'Elettrochimica Marco Ginatta, ha individuato, già molti anni fa, nello sviluppo della metallurgia estrattiva del titanio un campo di enorme importanza industriale; ha quindi effettuato ingenti investimenti per sviluppare un nuovo processo elettrolitico innovativo per produrre titanio grezzo di migliore qualità e a costi minori rispetto alla tecnologia attuale. Ha realizzato un impianto pilota per dimostrare la validità industriale del processo, e sta pianificando la realizzazione di un primo impianto industriale in Italia, proprio per sopperire alle carenze di forni tura del metallo.

Inoltre, il nostro impegno attuale è anche quello di sviluppare il mercato e le applicazioni del metallo, promuovendo, per esempio, altri incontri come questo, per dare un supporto agli utilizzatori attuali e potenziali.

Il rapporto prezzo/efficacia, indubbiamente, può arrivare a valori più favorevoli non soltanto con la diminuzione del prezzo ma anche con lo sviluppo della metallurgia e con lo sviluppo quindi, dal punto di vista della ricerca di base e applicata, delle applicazioni del titanio in settori, ambienti e temperature tali per cui il metallo, oggi, non è utilizzato.

In fig. 1 si vede il rutilo, che è il minerale grezzo per produrre titanio.

Con i processi tradizionali, Kroll oppure processo al sodio Hunter, si ottiene la spugna (fig. 2); invece, con il processo elettrolitico si produce un catodo di titanio come quello che si vede in fig. 3.



Fig. 1: rutilo

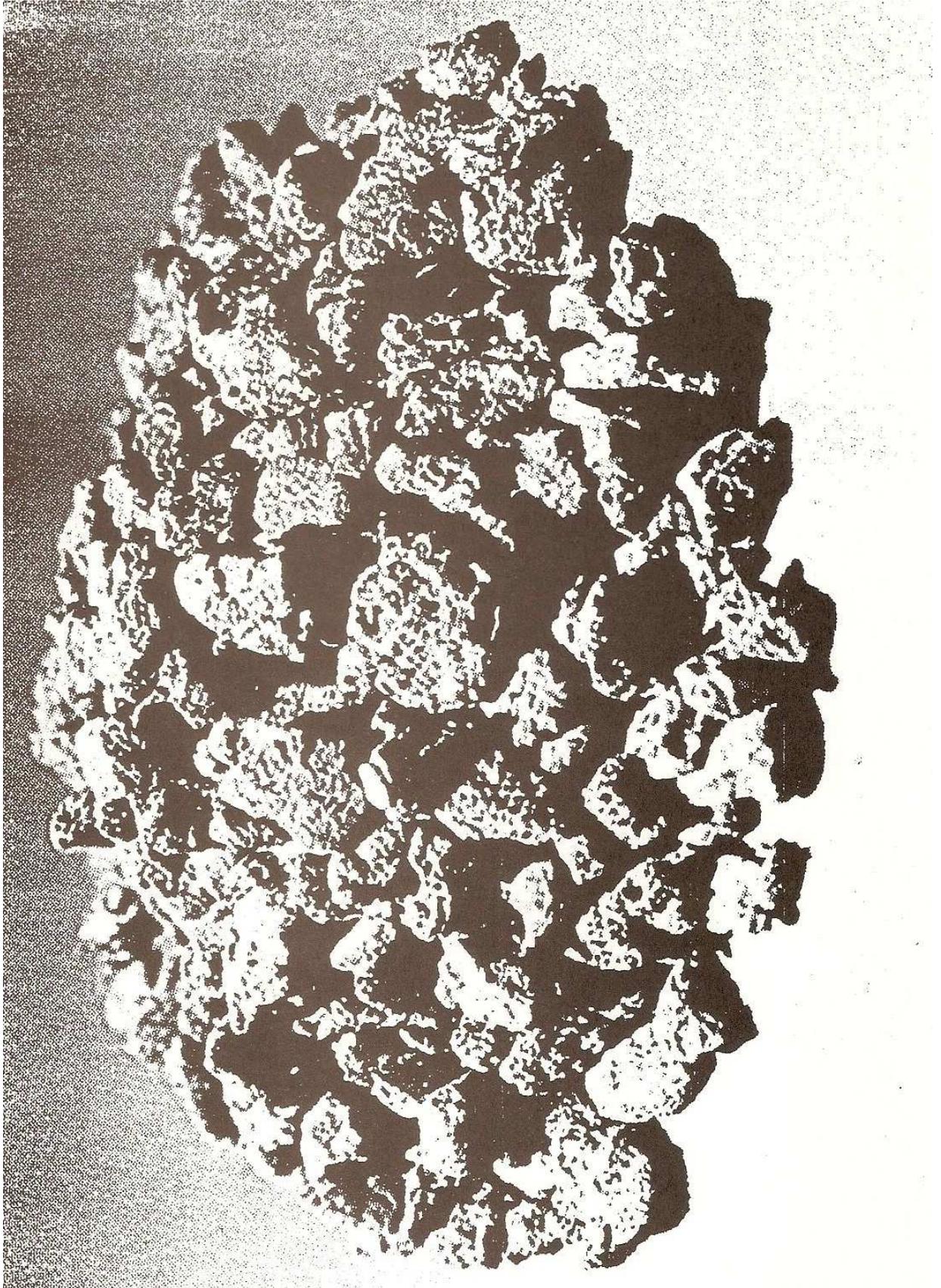


Fig. 2: spugna di titanio

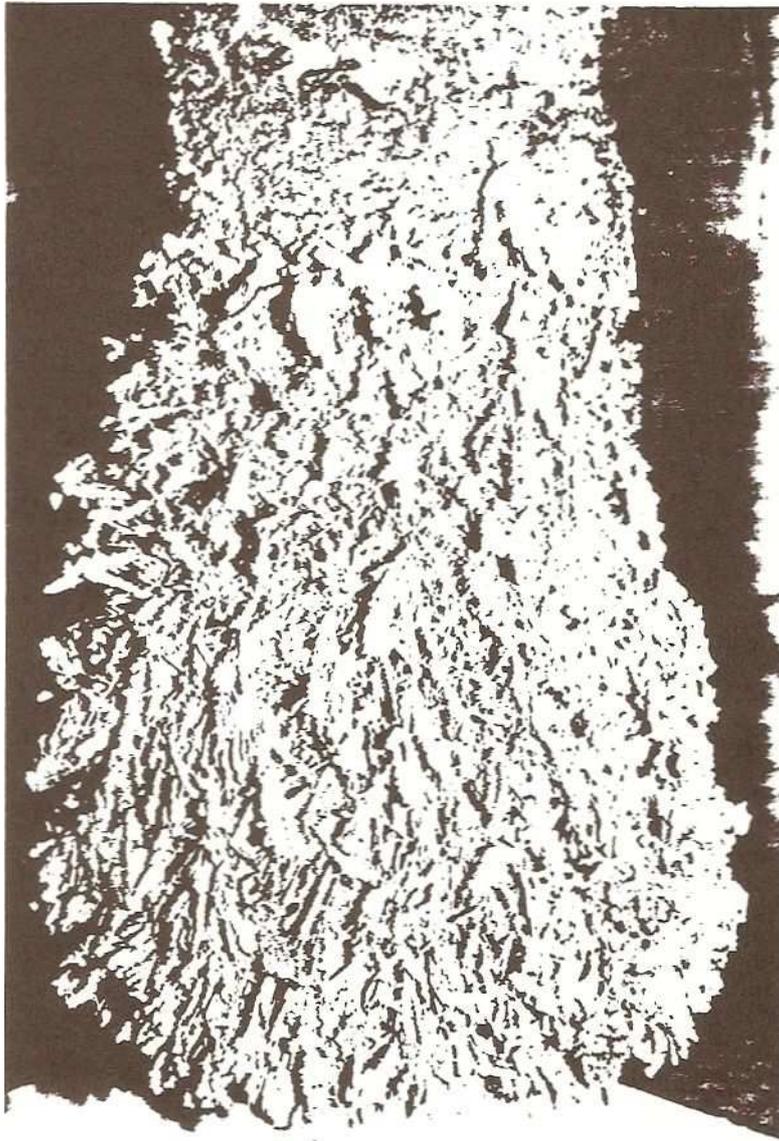


Fig. 3: catodo di titanio elettrolitico

Nello schema seguente sono evidenziati i vantaggi che l'EMG ha riscontrato nel proprio processo rispetto al processo tradizionale.

CONFRONTO PROCESSI DI PRODUZIONE TITANIO

termochimico

- non continuo
- qualità del prodotto non uniforme
- è importante la purezza dei reagenti, perché non vi è alcuna raffinazione
- alto consumo energetico
(Kroll: 34,5 kWh/kg)
(Hunter: 30,6 kWh/kg)
- due impianti da coordinare, Ti-Mg oppure Ti-Na
- gli impianti sono difficilmente automatizzabili
- impianti attuali ai limiti della produttività

elettrolitico

- continuo
- qualità del prodotto costante e superiore
- la purezza dei reagenti è meno importante per l'effetto raffinante dell'elettrolisi
- basso consumo energetico
(16 kWh/kg)
- un solo impianto da gestire
- l'impianto è più facilmente automatizzabile
- impianto agli inizi del suo sviluppo industriale

Tutto questo significa riduzione di costo.

Il titanio grezzo prodotto viene compattato in brichette (fig. 4), e queste sono assemblate insieme per essere fuse nel forno ad arco sotto vuoto.

In fig. 5 è illustrato uno schema di questo forno.

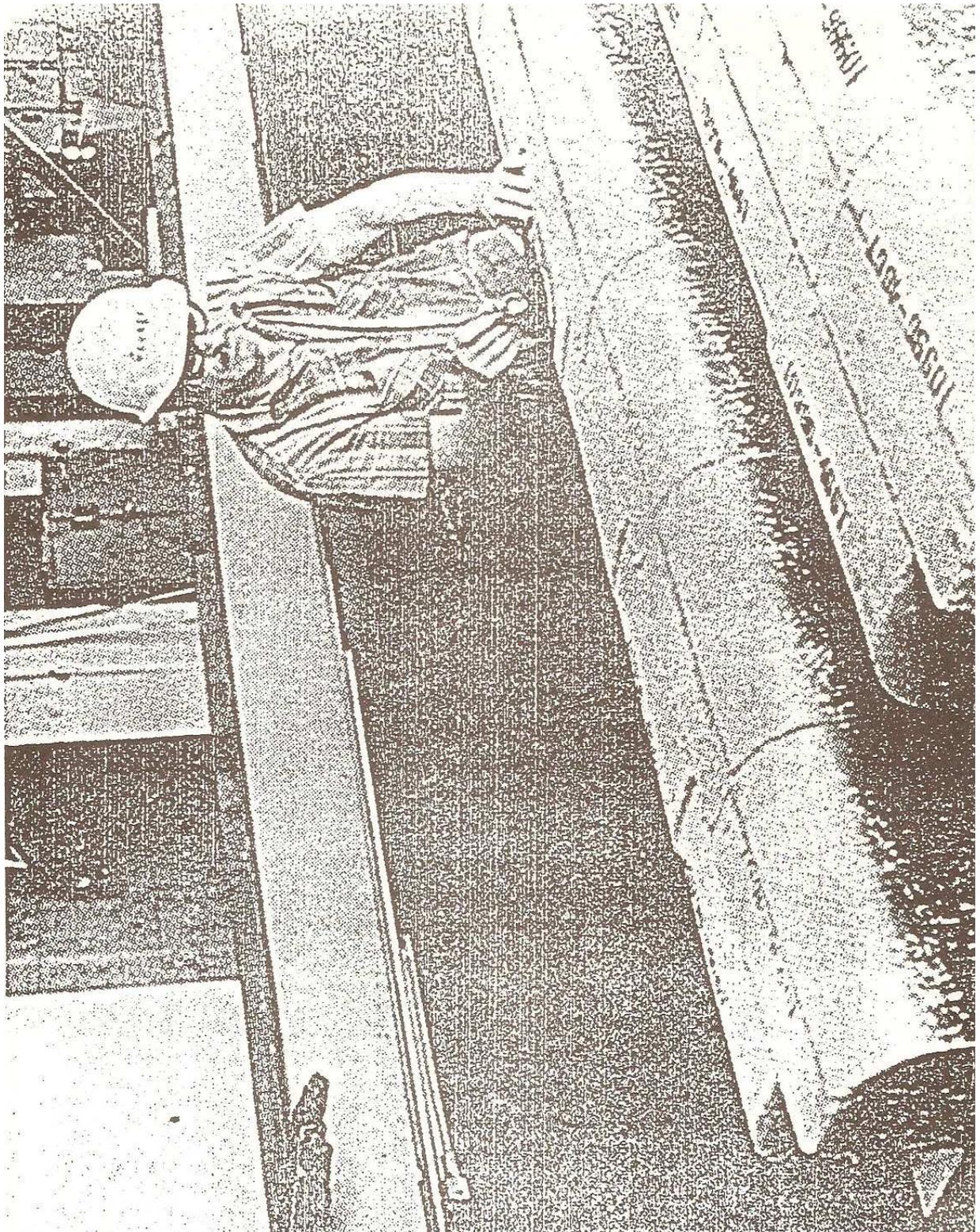


Fig. 4: brichette di titanio

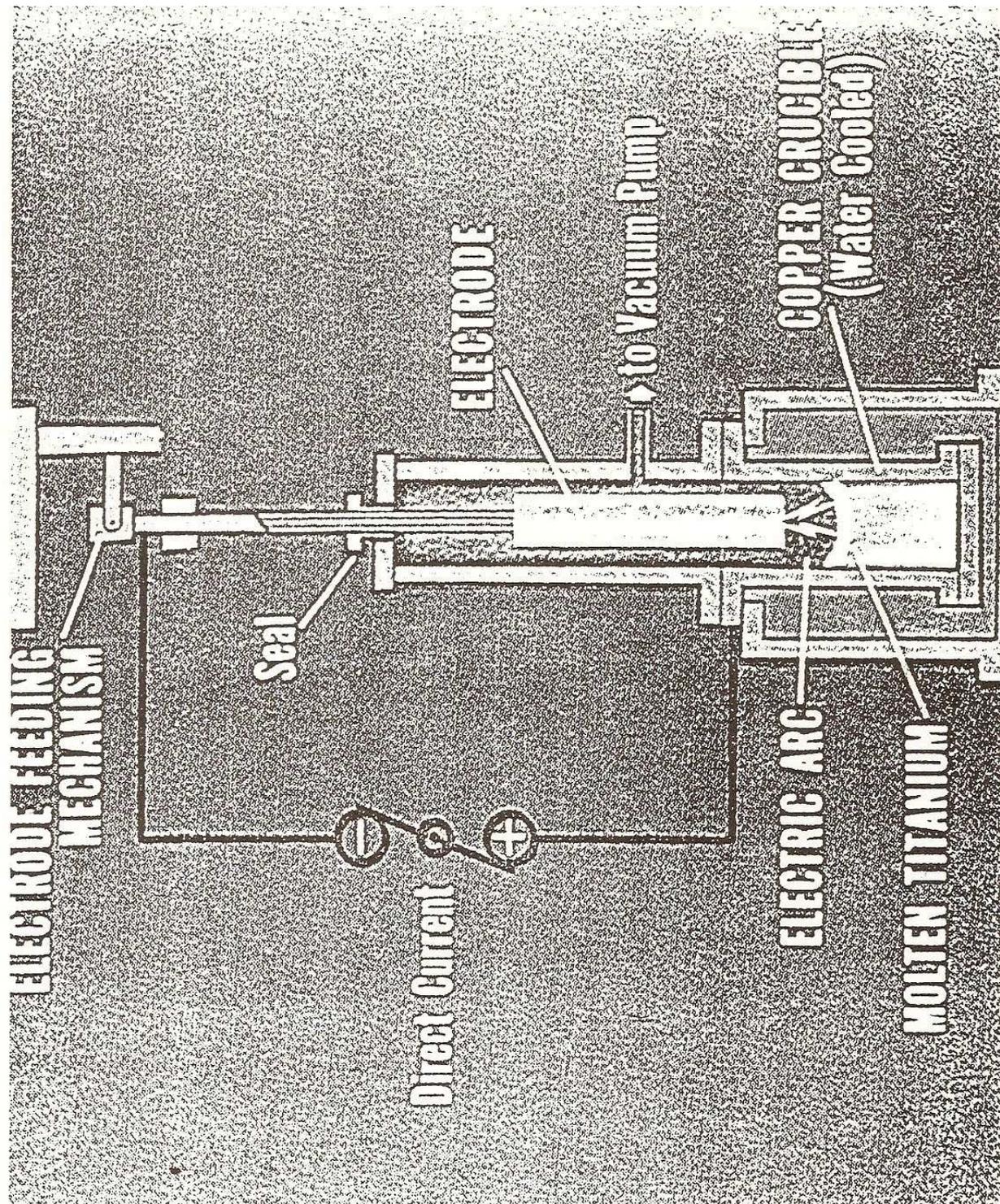


Fig. 5: schema di forno VAR

In fig. 6 si ha la vista di alcuni forni industriali in cui si producono lingotti di titanio del peso di oltre 10 tonnellate.

La tecnologia del titanio differisce da quella degli acciai fino all'ottenimento del lingotto: ma da questo punto in poi, come già detto, si hanno delle analogie estremamente spinte; infatti i lingotti vengono preriscaldati in forni a metano, forgiati in barre e laminati per la produzione di lamiera in impianti esattamente uguali a quelli siderurgici. Le figure seguenti (figg. 7, 8, 9) indicano, rispettivamente, le operazioni di forgiatura e di laminazione.

Questo significa, quindi, che inserirsi con un nuovo processo per la produzione di titanio darà un contributo importante agli sviluppi, alle applicazioni e al mercato di questo metallo.

Ulteriori fattori di importanza, per quanto riguarda la nostra attività, sono come aveva accennato l'Ing. Ginatta all'inizio, l'essere presenti per supportare i clienti, soprattutto nelle nuove applicazioni.

Vorrei, in questo senso, anche ricordare e ringraziare chi in Italia si occupa già di metallurgia del titanio, il Consiglio Nazionale delle Ricerche, l'Università di Torino e il Politecnico di Torino che hanno dato e daranno un contributo sempre maggiore agli sviluppi in questo settore.

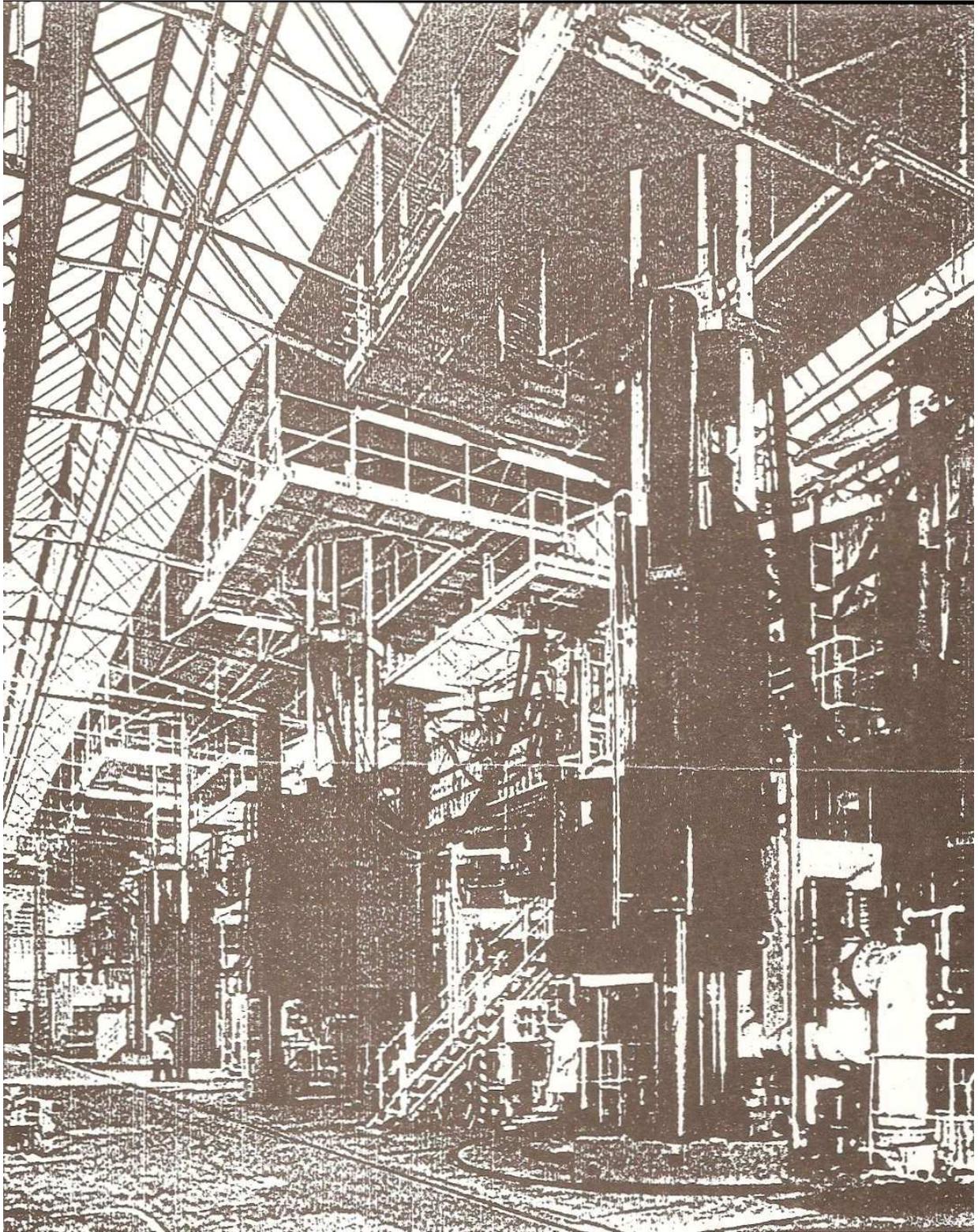


Fig. 6: forni industriali per lingotti

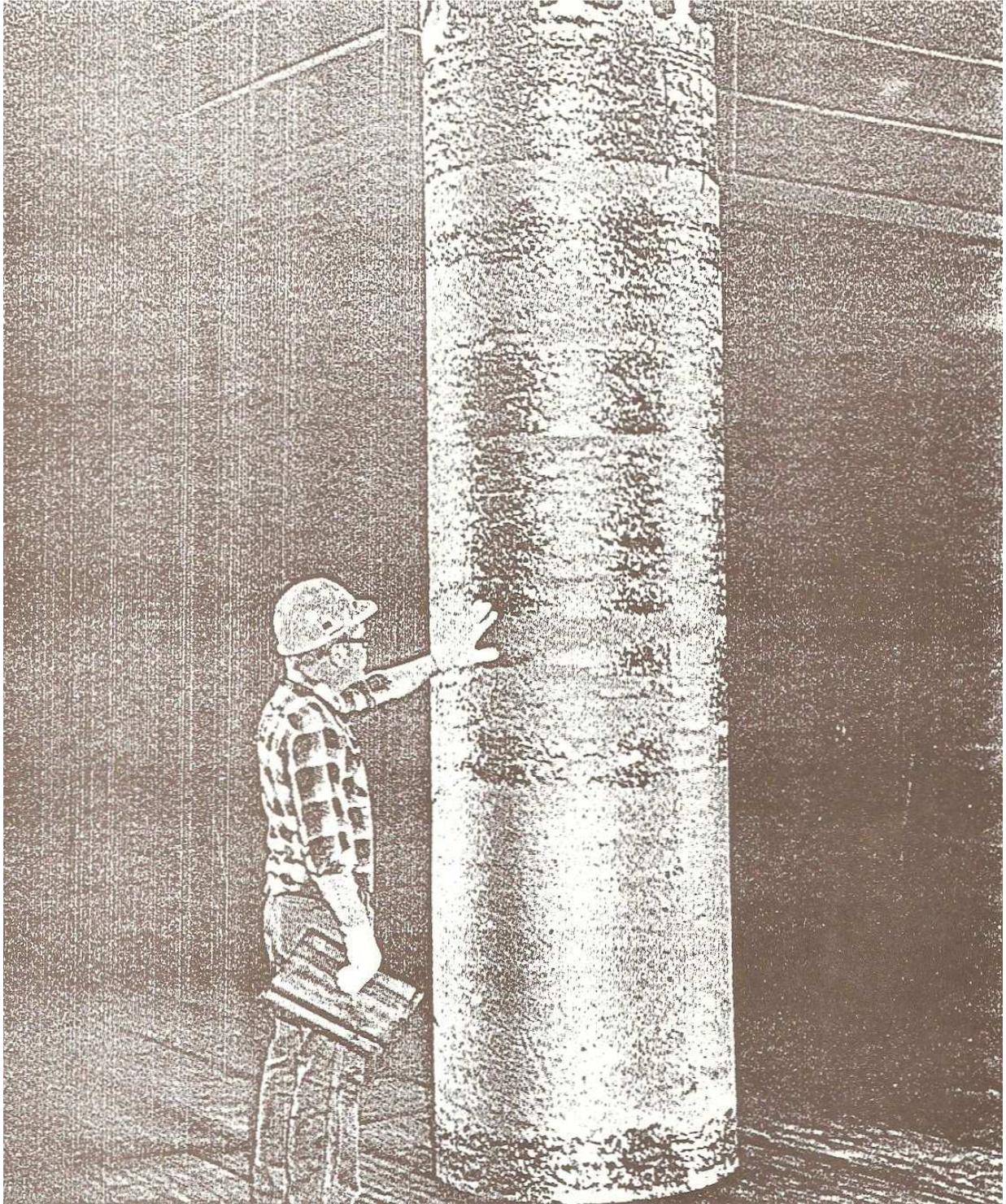


Fig. 7: lingotto di titanio

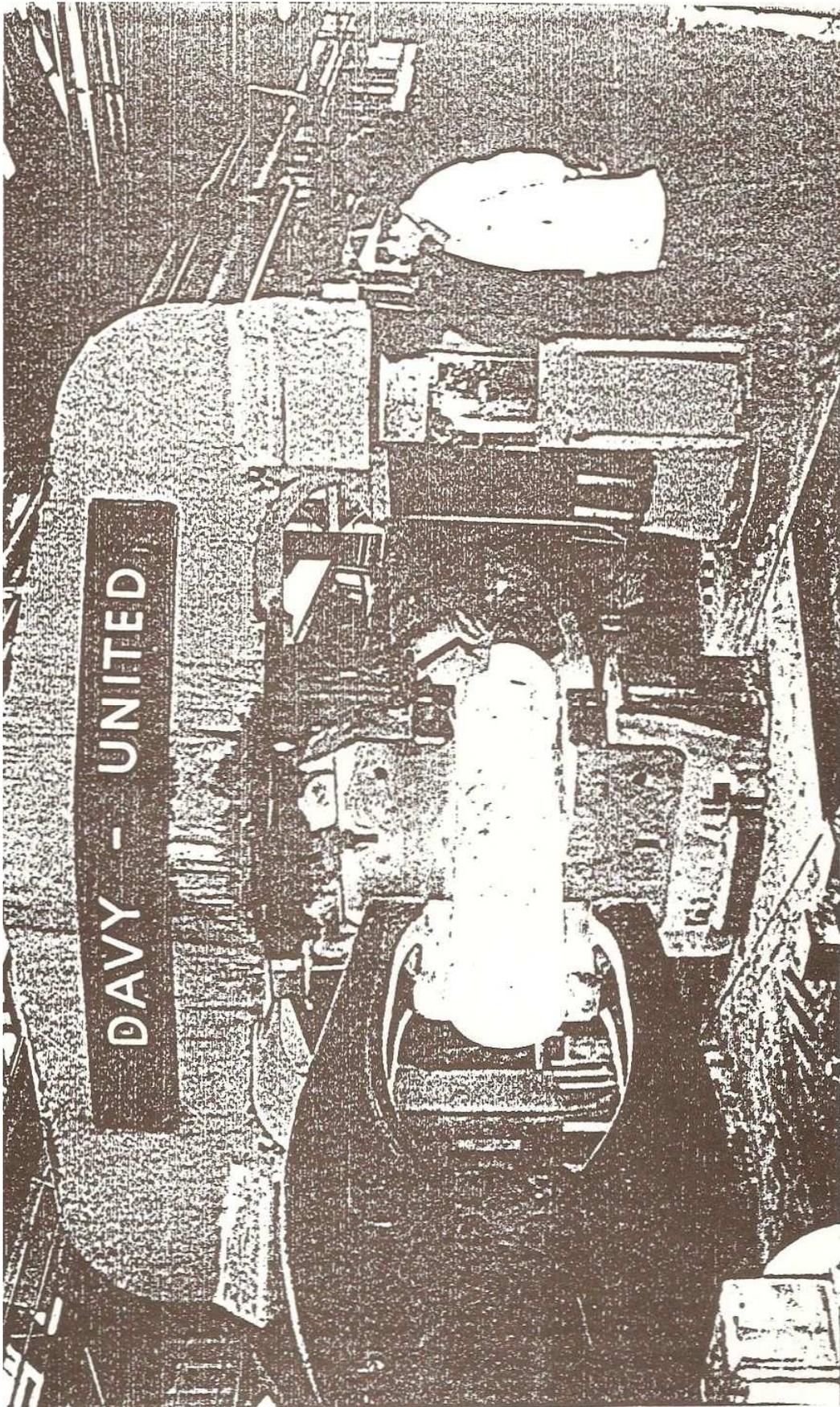


Fig. 8: forgiatura

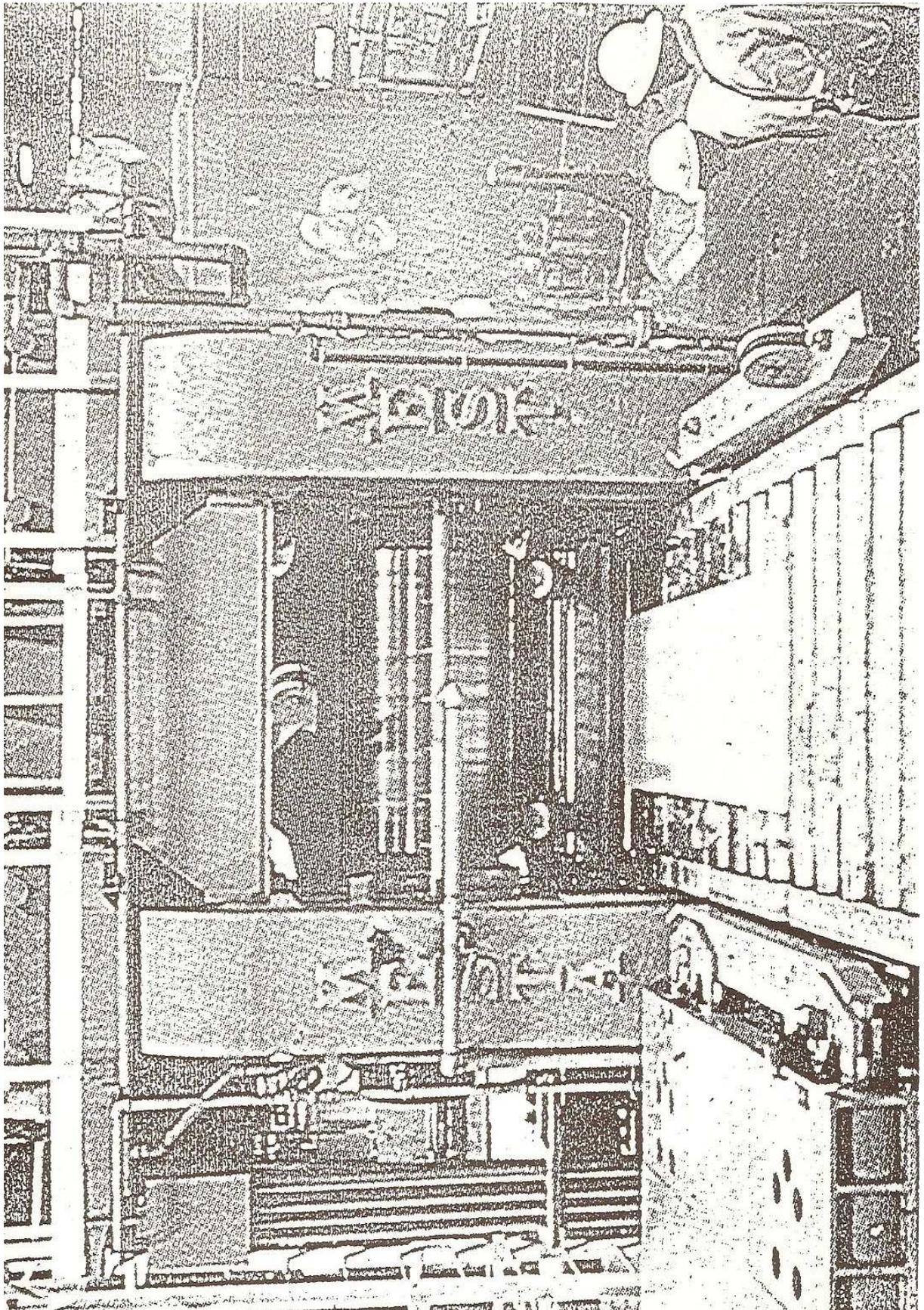


Fig. 9: laminazione