

Monica Cariola

IL TITANIO

**Un metallo per molteplici applicazioni
Analisi tecnologica e valutazioni economiche**

a cura di Marisa Gerbi Sethi e Angelo Nicolin



Collana **CERIS**

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

FrancoAngeli

Il CERIS - Istituto di Ricerca sull'Impresa e lo Sviluppo, fondato nel 1956 con la Scuola di Amministrazione Industriale di Torino, è dal 1972 l'Organo del CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) orientato allo studio degli aspetti connessi con la crescita del sistema economico con particolare riferimento alla componente industriale e all'analisi dei mercati.

Opera autonomamente dall'Università collaborando con essa e con altri Istituti scientifici in ambito nazionale e internazionale con studi di carattere teorico e/o verifica empirica a livello d'impresa e di aggregati di imprese, analizzando situazioni competitive o organizzative di settore, secondo i metodi dell'economia industriale e dell'economia dell'impresa.

Attualmente l'attività del CERIS è organizzata in progetti d'Istituto o collegati a Progetti Finalizzati e Strategici del CNR o internazionali che si focalizzano sull'esame dei meccanismi di crescita delle imprese e del sistema, sul cambiamento tecnologico, sull'innovazione ed i fenomeni connessi, sull'esame del sistema produttivo e della sua organizzazione con una particolare attenzione a problematiche attuali quali l'uropeizzazione della struttura industriale, le privatizzazioni, la Qualità Totale e l'introduzione di materiali o tecnologie "pulite".

La sua attività si esplica attraverso pubblicazioni CNR (si vedano i precedenti Bollettini CERIS ed i Quaderni CERIS e altre pubblicazioni prodotte all'interno di Progetti Finalizzati e Progetti Strategici), riviste internazionali e nazionali, volumi scientifici e divulgativi diretti ad esperti e operatori.

Essa inoltre si manifesta anche con la partecipazione a Commissioni ministeriali, alla predisposizione di piani di settori, alla stesura con altri Enti e la pubblica amministrazione di rapporti sullo stato della conoscenza in sistemi economici osservati e in attività di formazione.

Con questa pubblicazione il CERIS intensifica la collaborazione con Franco Angeli con una collana propria, che costituisce la naturale evoluzione dei Bollettini prima, e dei Quaderni CERIS poi.

L'obiettivo della collana è quello di presentare a un pubblico di studiosi, *policy maker* e operatori pubblici e privati, i risultati delle ricerche condotte presso il CERIS.

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
ISTITUTO DI RICERCA SULL'IMPRESA
E LO SVILUPPO

Direttore dell'Istituto: Marisa Gerbi Sethi

Consiglio scientifico: Presidente: Enrico Filippi

Componenti: Arnaldo Bagnasco
Gian Franco Corio
Marisa Gerbi Sethi
Michele Grillo
Gian Maria Gros-Pietro
Secondo Rolfo
Laura Rondi
Alessandro Sembenelli
Giovanni Zanetti
Maria Zittino

Direttore responsabile della collana: Marisa Gerbi Sethi

Responsabile di redazione: Nadia Marengo

Monica Cariola

IL TITANIO

**Un metallo per molteplici applicazioni
Analisi tecnologica e valutazioni economiche**

a cura di Marisa Gerbi Sethi e Angelo Nicolin

Collana CERIS - Consiglio Nazionale delle Ricerche
CERIS Istituto di Ricerca sull'Impresa e lo Sviluppo
ICMM Istituto per la Corrosione Marina dei Metalli

FrancoAngeli

Monica Cariola, è attualmente ricercatore al CERIS, dove, da alcuni anni, partecipa attivamente a progetti di ricerca in tema di innovazione e tecnologie pulite: aree in cui prevalgono le sue pubblicazioni, tra cui quelle periodiche per conto del CNEL sullo *Stato delle Tecnologie in Italia*. Ha precedenti esperienze in Azienda, nel settore del titanio in particolare.

Marisa Gerbi Sethi, economista aziendale, specializzata nell'analisi del mercato e della sua organizzazione, è dirigente di ricerca del CNR, già membro dei Comitati Nazionali delle Scienze Economiche e per le Ricerche Tecnologiche e l'Innovazione del CNR. Attualmente è direttore del CERIS dove ha coordinato progetti di ricerca e pubblicato numerosi volumi.

Angelo Nicolin, professore di farmacologia alla Facoltà di Medicina dell'Università di Milano, ha svolto compiti di programmazione e gestione della ricerca. Alcuni anni or sono, in qualità di membro del Comitato Tecnologico del CNR, è stato incaricato di riorganizzare l'attività dell'Istituto per la Corrosione Marina dei Metalli, di cui successivamente è diventato direttore, e di avviare nuove iniziative scientifiche. La partecipazione alla presente opera rientra tra queste ultime finalità.

Si ringrazia il professor Pietro Pedferri del Politecnico di Milano per aver gentilmente concesso la riproduzione in copertina di una sua opera eseguita mediante ossidazione anodica su lastra di titanio, tratta da una sua raccolta riprodotta nel volume *Immaginazione su titanio*, CLUP, Milano 1987.

Indice

| | | |
|---|------|----|
| Presentazione , di <i>Luigi Paganetto</i> | pag. | 9 |
| Presentazione , di <i>Claudio Battistoni</i> | » | 11 |
| Introduzione , di <i>Marisa Gerbi Sethi e Angelo Nicolin</i> | » | 13 |
| Premessa , di <i>Monica Cariola</i> | » | 17 |
| 1. Il titanio, caratteristiche generali | » | 19 |
| 1.1. Profilo storico | » | 19 |
| 1.2. I minerali di titanio: localizzazione e dimensioni dei giacimenti nel mondo | » | 23 |
| 2. I cicli tecnologici connessi alla produzione di titanio | » | 32 |
| 2.1. Estrazione e concentrazione del minerale | » | 32 |
| 2.2. Produzione del tetracloruro di titanio | » | 35 |
| 2.3. Processi di riduzione tradizionali per l'ottenimento del titanio metallo primario | » | 37 |
| 2.4. Produzione di titanio metallo con processo elettrolitico innovativo e confronto con i processi termochimici tradizionali | » | 42 |
| 2.5. Tecnologie di fusione della spugna per la produzione di lingotti | » | 54 |
| 2.6. Leghe di titanio | » | 60 |
| 2.7. Lavorazioni del titanio e saldatura | » | 66 |
| 2.8. I getti in titanio | » | 80 |
| 2.9. Il riciclaggio dei rottami nell'industria del titanio | » | 84 |

| | |
|---|---------|
| 3. I settori applicati vi del titanio in relazione alle sue caratteristiche | pag. 86 |
| Premessa metodo logica | » 86 |
| 3.1. Principali proprietà e caratteristiche del titanio e delle sue leghe | » 86 |
| 3.2. I settori applicativi del titanio | » 118 |
| 3.2.1. Industria aeronautica | » 120 |
| 3.2.2. Industria chimica ed elettrochimica | » 124 |
| 3.2.3. Industria petrolchimica | » 128 |
| 3.2.4. Industria dell'energia | » 129 |
| 3.2.5. Desalinizzazione e potabilizzazione acque | » 134 |
| 3.2.6. Industria marina | » 136 |
| 3.2.7. Industria alimentare | » 140 |
| 3.2.8. Industria biomedica | » 146 |
| 3.2.9. Edilizia civile | » 149 |
| 3.2.10. Restauri ed archeologia | » 153 |
| 3.2.11. Industria attività sportive e varie | » 155 |
| 3.2.12. Industria meccanica | » 159 |
| | |
| 4. Il minerale di titanio: produzione e consumi | » 165 |
| 4.1. Il minerale di titanio | » 165 |
| 4.2. La spugna di titanio | » 185 |
| 4.3. I lingotti e i semilavorati in titanio | » 210 |
| 4.4. La situazione italiana | » 223 |
| | |
| 5. Il prezzo del titanio | » 261 |
| 5.1. Trend storico del prezzo del titanio | » 261 |
| 5.2. I fattori che influiscono sul prezzo di vendita | » 274 |
| Efficienza di costo del titanio | |
| | |
| 6. Le norme sul titanio | » 286 |
| 6.1. Normativa internazionale | » 286 |
| 6.2. Normativa Italiana | » 310 |
| | |
| Conclusioni. Le cause del limitato sviluppo del mercato del titanio fino ad oggi, i possibili spunti per un loro superamento | » 315 |
| | |
| Riferimenti bibliografici | » 327 |
| | |
| Pubblicazioni curate dal CERIS-CNR | » 361 |