

Pietro Luigi Cavallotti
Walter Nicodemi

I materiali metallici

Metallic materials

Didactic and scientific research activity at Politecnico di Milano was a basic choice since the times of its foundation and it was organised and directed by professors of international fame. Since then, industries always promoted and supported the research by focusing on the different problems aroused by the industrial world. As a witness of this close link with industries we only quote Vanzetti Foundation and Falck Foundation which still provides financial support for the metallurgical researches.

The two cores to which metallurgical research was devoted are now contained in the Chemistry, Materials and Chemical Engineering Department "Giulio Natta" and in the Mechanical Department. The last Department develops applied research, that is to say that it always focuses not only on the material itself, but on the final use of the materials and therefore on the link among materials, project and final working. The study of materials implies chemical composition, properties, realisation and transformation processes, performances in activity

and all these relations can be observed in Fig.1.

Chemical composition and properties are important to determine the possibilities and the performances of a material and in considering possible collapses.

Therefore a good researcher in the material area has to build a pattern of references in order to allow the choice of a suitable material for a project, to give indications for modifying the project to overcome and fit the limits of the material. Composition, structure and properties of a material influence the transformation and working processes, but the limits imposed by a material can be overcome by changing the existing processes or by introducing innovative processes. On the other hand, transformation and working

Nel settore metallurgico l'attività didattica e di ricerca scientifica presso il Politecnico nasce con il Politecnico stesso, come scelta di base, sviluppata esclusivamente presso l'Istituto di Elettrochimica, Chimica-Fisica e Metallurgia, i cui primi direttori furono i professori Carrara, Scarpa, Piontelli, tutte figure di primissimo piano a livello internazionale. L'industria ha sempre sovvenzionato e promosso l'attività di ricerca, svolgendo un notevole ruolo di collaborazione che ha permesso ai ricercatori di concentrarsi di volta in volta sulle problematiche maggiormente richieste dalla realtà industriale. A testimonianza di questo profondo connubio citiamo la Fondazione Vanzetti e da più di quarant'anni la Fondazione Falck, che gode ancora di una cospicua dotazione destinata esclusivamente a ricerche nel settore siderurgico.

I due grandi nuclei in cui si sviluppa la ricerca metallurgica di base si collocano oggi nel Dipartimento di Chimica, Materiali ed Ingegneria Chimica "Giulio Natta" e nel Dipartimento di Meccanica. L'attività di ricerca svolta presso quest'ultimo è di tipo applicato ed è fondata su un'impostazione culturale che non ha privilegiato unicamente lo studio del materiale in sé, ma ha tenuto presente, contemporaneamente ed in termini ingegneristici, anche lo scopo finale del materiale in esercizio, e cioè la realizzazione di manufatti, opere, oggetti, componenti, organi meccanici, apparecchiature: non si è mai perso di vista cioè lo stretto legame esistente tra il materiale, la progettazione e le lavorazioni.

In particolare, lo studio dei materiali comporta l'esame sistematico delle correlazioni tra composizione chimica, struttura, proprietà, processi di realizzazione e di trasformazione, prestazioni in esercizio, correlazioni che possono essere espresse sinteticamente da uno schema quale quello riportato [fig.1].

La composizione chimica e la struttura hanno un'importanza fondamentale nel determinare e controllare le proprietà di un materiale, e quindi nello stabilire le possibili prestazioni in esercizio del manufatto con esso realizzato, e al tempo stesso nel porre loro delle limitazioni.

È in questa prospettiva che vanno viste le attività connesse con il rilievo e la misura di tali proprietà e lo studio delle relative problematiche, anche e soprattutto in relazione ai rischi di cedimento in opera, e all'individuazione di metodi di previsione che offrano garanzie di elevata affidabilità.

Uno dei compiti fondamentali del ricercatore nel settore dell'ingegneria dei materiali è sicuramente quello di giungere allo sviluppo di relazioni di tipo quantitativo tra struttura e proprietà, di determinare in quest'ambito un quadro di riferimento sufficientemente definito da consentire la scelta del materiale appropriato per un certo progetto, ma anche di fornire indicazioni su come il progetto debba essere impostato o modificato per assecondare le possibilità e le limitazioni imposte dai materiali disponibili.

La composizione e la struttura, ed anche le proprietà ad esse correlate, condizionano la scelta dei processi di trasformazione e di lavorazione; basti ricordare che l'attitudine di un materiale ad essere sottoposto ad un determinato processo di lavorazione è ovviamente un aspetto cruciale per l'ingegnere e può essere un fattore limitante nella scelta del materiale stesso. Tali vincoli possono tuttavia essere resi meno stretti, o addirittura eliminati, mediante modifiche dei processi esistenti o con l'introduzione di processi innovativi.

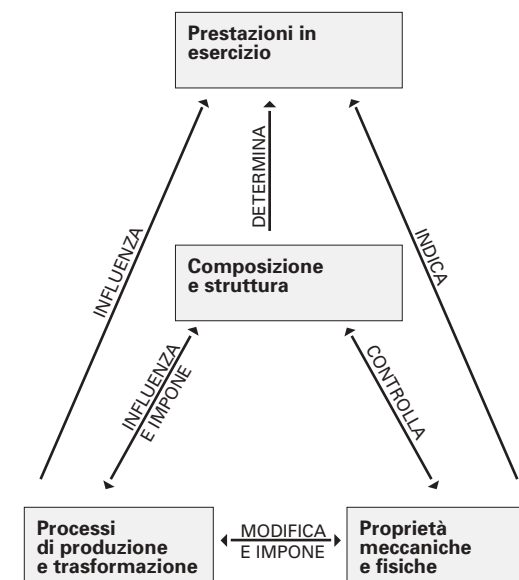
D'altra parte i processi di trasformazione e le lavorazioni possono a loro volta suggerire varianti nella composizione chimica, nella struttura e quindi nelle proprietà del materiale, ed influenzarne conseguentemente le prestazioni in esercizio.

Pertanto, come appare evidente, il quadro che fa da riferimento all'attività di ricerca condotta, appare assai articolato, e caratterizzato da numerose interconnessioni che consentono di definire, almeno in termini generali, un progetto unitario finalizzato alla valorizzazione dal punto di vista ingegneristico del materiale che quindi si colloca come cerniera tra l'ideazione (progetto) e la realizzazione di un determinato prodotto.

I principali temi di ricerca sviluppati presso il Dipartimento di Meccanica possono essere raggruppati nei seguenti settori principali:

- problematiche di fabbricazione di acciai e leghe non ferrose;
- problemi relativi ai consumi energetici e all'impatto ambientale: aspetti impiantistici e di processo;
- acciai inossidabili per getti e per impieghi off-shore;
- meccanica della frattura di leghe ferrose e non ferrose;
- rivestimenti superficiali, saldatura, giunzione dei metalli;
- metallurgia delle polveri;
- caratterizzazione meccanica (fatica, creep, usura),

1. Interazione tra composizione, proprietà, produzione e prestazioni dei materiali metallici.



processes can suggest modifications in the composition and in the structure and consequently influence working performances. The pattern of reference for this kind of research is huge and with a lot of connections which allow the fulfilment of a unitary project which is a link between the planning and the final realisation. The most important sub-

jects of research developed in the Mechanical Department are the following:

- problematic of steel and non-ferrous alloys production
- stainless steels for castings and off-shore applications
- fracture mechanics of ferrous and not ferrous alloys
- superficial coating and welding

2. Inclusioni non metalliche negli acciai.
100 m m



► - energy consumption, pollution, plans and processes
- powder metallurgy
- mechanical characterisation (fatigue, creep and wear), plastic deformation, workability of the ferrous and non ferrous alloys.
Nowadays, notwithstanding the great amount of different materials available in every kind of human activity, the metallic materials are the most widely used 75% of the final weight of a transportation medium is given by metals, and metallic materials are more and more used even for structural applications. Moreover the metals are important for a sustainable development as they can be totally recycled through remelting. This aspect is even more important considering that metals are

used in every kind of industrial production. Here we can only list some of the projects of each unit research as it is impossible to list all of them.
For example in the plant and productive activities we study problems connected with the productive processes of the metallic materials and the plants which could realise them; all these researches are performed with the support of several important industries such as Gruppo Marcegaglia, Gruppo Riva, ISP, Voest Alpine, Arvedi, Techint and some of the subjects of research obtained financial support from the European Community. A first important theme regarding the performance of steels concerns birth and development of glass-ceramic compounds in steels. These ►

determinazione della formabilità plastica e della lavorabilità alle macchine utensili delle leghe ferrose e non ferrose.

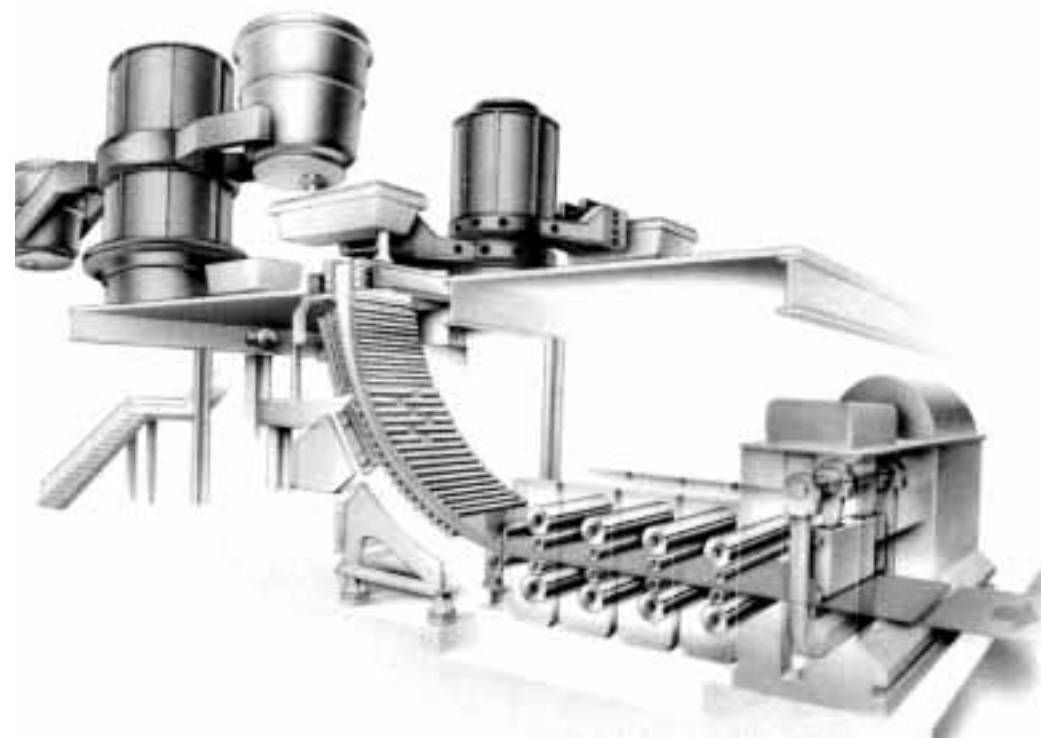
Al giorno d'oggi, nonostante la pluralità di materiali che abbiamo a disposizione e che hanno consentito e permettono l'esplicitarsi dell'attività umana nei più disparati ambiti, i materiali metallici sono ancora i maggiormente utilizzati, basti considerare a testimonianza di tutto questo che nei mezzi di trasporto la percentuale di materiali metallici rappresenta tutt'oggi almeno il 75% del peso, senza considerare che anche in ambito civile l'impiego delle strutture metalliche è in forte incremento, in virtù del favorevole rapporto tra peso, resistenza meccanica e alle sollecitazioni dinamiche. Inoltre, i metalli possono vantare consistenti vantaggi strategici nell'ottica di uno sviluppo sostenibile e della preservazione delle risorse naturali, in quanto essi risultano completamente riciclabili attraverso i processi di rifusione. Questo risulta essere un aspetto di notevole rilevanza, anche in virtù dei molti campi di impiego in cui i materiali metallici sono attualmente utilizzati: attività impiantistica, industria aereo-spaziale, componentistica elettronica, generazione e trasporto di energia, applicazioni chimiche e petrolchimiche ecc..

Ci si limita a qualche cenno, per non ripetersi, circa alcune ricerche attualmente in corso, poiché non è assolutamente possibile sintetizzare in poche righe ogni singolo progetto svolto dalle varie unità di ricerca attive nel settore.

Ad esempio, nell'area impiantistica produttiva si sviluppano ricerche relative agli aspetti connessi con i processi produttivi dei materiali metallici ed ai sistemi impiantistici che possono realizzarli. Per tale ragione le tematiche appartenenti a quest'area sono tutte studiate con la collaborazione di diverse realtà industriali: Gruppo Marcegaglia, Gruppo Riva, ISP Arvedi, Techint, Voest Alpine Impianti ed alcuni di questi filoni hanno ottenuto il sostegno finanziario dell'Unione Europea.

Una prima tematica di forte rilevanza per le prestazioni in esercizio degli acciai riguarda la genesi e lo sviluppo di aggregati di tipo ceramico-vetroso all'interno degli acciai. Tali composti, detti inclusioni non metalliche, possono essere progettate in modo da variare le caratteristiche del materiale metallico così da modularne le proprietà meccaniche nonché l'attitudine alla lavorabilità alle macchine utensili. È in fase avanzata la strutturazione di alcuni modelli matematici in grado di consentire ai

3. Schema impianto ISP Arvedi

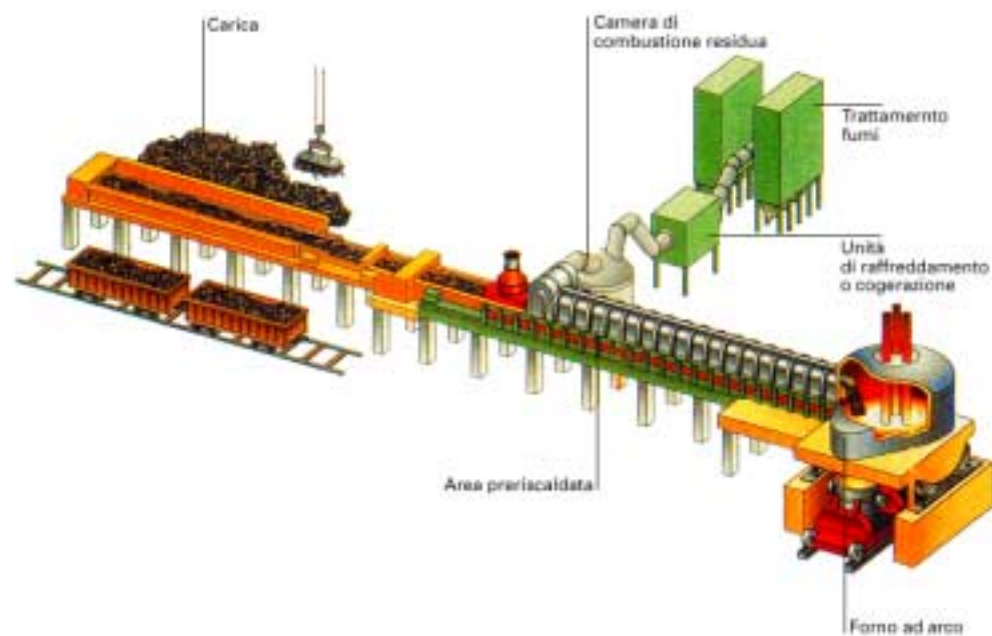


produttori di gestire il processo attraverso il rispetto di opportune tempistiche e l'instaurazione di corrette situazioni di analisi chimica e di temperatura [Fig. 2*].

Un altro settore di interesse è quello dei processi di solidificazione, in particolare del processo di colata continua, che ha consentito di giungere ad elevati livelli produttivi. La qualità dei prodotti metallici finali e l'efficienza delle lavorazioni successive al processo di solidificazione dipendono in modo significativo dall'aspetto macro e micro-strutturale,

che può essere controllato mediante un'opportuna regolazione dei parametri di processo. Anche se i sistemi di colata continua sono sistemi tecnologicamente molto avanzati, la loro regolazione è attualmente realizzata in gran parte solo mediante approcci di tipo empirico. Il miglioramento della competitività dei sistemi suddetti è legato alla possibilità di riprogettare alcuni componenti delle macchine di colata continua e di strutturare alcuni strumenti che mettano gli operatori in grado di regolare di volta in volta il sistema a seconda delle proprie esigenze. Un tale sforzo ha condotto l'unità di ricer-

4. Schema impianto Consteel-Tekint

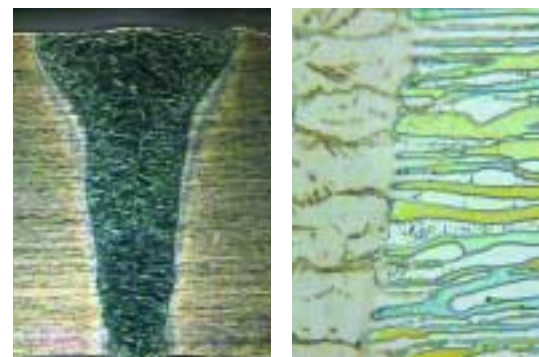


ca a progettare nuovi tipi di lingottiere e a sviluppare delle mappe di colaggio che consentano agli operatori di aumentare la produttività e di garantire le qualità macro e micro-strutturali richieste. Si sta collaborando con importanti realtà industriali per lo sviluppo dei processi di colaggio in sottile che possono rappresentare la vera svolta impiantistica dei prossimi anni [fig.3¹].

Per quanto concerne i processi di deformazione plastica si sta studiando l'ottimizzazione dei flussi di materiale all'interno degli utensili, tenendo conto dei processi di trasformazione cristallina (ricoveri e

ricristallizzazione) che caratterizzano il comportamento del materiale in lavorazione. Quest'esigenza diverrà ancora più stringente con l'introduzione delle nuove generazioni di acciai polifasici, che, nonostante siano stati sviluppati da tempo, stanno vedendo solo ora una rapida espansione su scala industriale. Data la loro notevole formabilità, l'elevata resistenza e la significativa resistenza agli urti anche dopo il processo deformativo, questi materiali hanno le potenzialità per modificare profondamente gran parte del panorama dei materiali metallici destinati ad applicazioni strutturali. Perciò la

5. Giunto in acciaio inossidabile Duplex saldato e trattato superficialmente mediante laser



scelta corretta dei parametri produttivi, al fine di ottenere le proprietà e le strutture desiderate, è una priorità imprescindibile.

Infine, si sta iniziando l'attività di ricerca relativa alla valutazione dell'impatto ambientale dei sistemi metallurgici, in modo da migliorare la gestione dei processi e degli impianti per preservare il contesto ecologico in cui operano le realtà industriali, in primo luogo con abbattimento delle emissioni e del consumo energetico senza alterare la qualità dei prodotti finali [fig.4¹].

Per quanto concerne la caratterizzazione dei prodotti è in corso un'intensa attività di studio relativa agli acciai microlegati, volta a caratterizzarne il comportamento in funzione della precipitazione di carbo-nitruri di niobio, vanadio e titanio. Questa tematica di ricerca è volta ad ottenere corrette proprietà di deformabilità per i semilavorati e di tenacità per i prodotti finiti, che possono essere garantite solo mediante un'adeguata scelta dei parametri termici di processo.

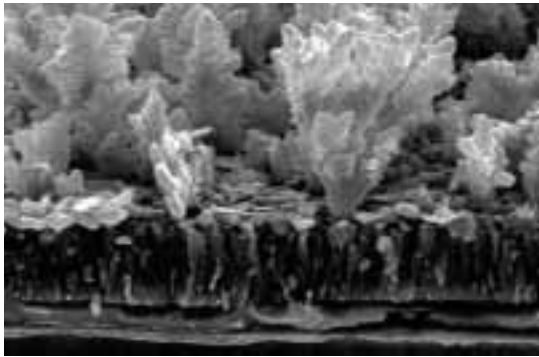
Per le specifiche competenze e per tradizione del gruppo di ricerca si sono sviluppati studi nelle diverse classi di acciai, leghe non ferrose e materiali compositi in relazione alle condizioni di esercizio

inclusions can be projected to change the features of the metallic materials in order to modify their properties and workability.

The development of some important mathematical models is already at an advanced state and they can allow the producers to manage the process, to respect the right times and to choose correct situations with respect to chemical analysis and temperature (fig.2). Another important area is solidification and in particular continuous casting, which allows great productivity. The final quality of the metallic materials and their efficiency depend on the micro-structural aspect, which can be controlled by the processing parameters. Although continuous casting is a very advanced

technique, its regulation is still empirical, therefore the project of new systems for helping the producers to regulate the processes and to improve the final micro and macro structure of the materials are very important. We are co-operating with important industries in order to project new thin casting systems, which will be the great novelty of the next decade (Fig.3). As far as the plastic deformation is concerned we are studying the improvement of materials fluxes in the tools, taking into account the crystallisation processes characterising the materials when working. These studies will be even more important with the future introduction of multiphase steels which will greatly modify the structural applications of the metallic materials. Moreover we are ▶

6. Crescita prima cellulare e poi dendritica di cobalto elettrodeposto
5,00 m m



▶ developing researches to improve the environmental impact of the metallic materials by diminishing smokes and by preserving energy without altering the final material quality (Fig. 4).

An important research about micro-alloyed steels is in progress in order to obtain the correct workability and toughness of the final materials, which can be obtained through the right choice of the processing thermal parameters.

Studies have been developed about the different classes of steels, ferrous and non-ferrous alloys and compound materials according to their different working conditions. For every research we take into consideration the problematic about material behaviour, chemical composition, plastic

deformation and welding (Fig.5). All these researches are supported by important companies such as ENEL and Teksid. Metallurgical researches at the "Giulio Natta" Department concern the following main fields:

- surface engineering, with attention to both surface modifications and surface coatings;
- production, fabrication, treatment and application of non-ferrous metals;
- production and behaviour of magnetic materials.

Surface is not only the geometric boundary of a body, delimiting its shape, but also the location where exchanges occur with the ambient and the body evolution is defined. Surface structure is difficult to determine, because of its low dimensionality, but it is fundamental to understand what occurs ▶

(in collaborazione con importanti Enti e Società in particolare Enel e Teksid); di volta in volta viene preso in considerazione il comportamento di tali materiali per quanto riguarda le problematiche di fabbricazione, di composizione chimica, di deformazione plastica, di saldatura [fig.5*].

Le ricerche sui materiali metallici sviluppate presso il Dipartimento di Chimica, Materiali ed Ingegneria Chimica "Giulio Natta" riguardano i seguenti temi principali:

- l'ingegneria delle superfici sia come trattamenti nelle loro diverse possibilità, riporto o modifica superficiale, sia come studio dell'influenza dei difetti di superficie sul comportamento dei metalli;
- la produzione, le lavorazioni ed i trattamenti, e applicazioni dei materiali metallici non ferrosi, e fra questi l'alluminio e le sue leghe, il rame e le sue leghe, i metalli preziosi, le leghe a memoria di forma;
- la produzione ed il comportamento dei materiali magnetici, sia dolci che permanenti, sia massivi che in strato più o meno sottile.

La superficie non è, o meglio non è solo, il confine geometrico che delimita la forma di un corpo, definendone il volume, ma anche il modo di apparire ed il confine tra l'oggetto e l'ambiente. Attraverso la superficie l'oggetto interagisce, modificandosi dal punto di vista fisico, chimico e meccanico. Le difficoltà di conoscere la superficie nascono dalla sua stessa dimensionalità, e dalla sua profondità, di livello atomico, per cui tecniche, che ne misurino composizione e proprietà, sono soggette a vincoli fisici e chimici fondamentali. Tutti i campi applicativi in fase di grande sviluppo risentono della possibilità di comprendere come le superfici siano fatte e come possano essere modificate e condizionate.

Il laboratorio metallurgico del Dipartimento di Chimica, Materiali ed Ingegneria Chimica "Giulio Natta" ha perseguito lo scopo di sviluppare le conoscenze sulle superfici, sia definendole dal punto di vista strutturale, fisico, chimico e meccanico, sia sviluppando metodi per la realizzazione di superfici di particolare interesse per resistenza a corrosione e ad usura.

Il contributo all'avanzamento delle conoscenze fondamentali nel campo ha riguardato, in particolare, la correlazione tra cinetica chimica ed elettrochimica, e struttura degli strati metallici ottenuti. È stata sviluppata una metodica di studio delle reazioni chimiche di scarica agli elettrodi, basata sull'analisi

dei transienti di sovratensione, ed è stata studiata la crescita conseguente, classificandola come verso l'esterno, laterale o a "cluster". Questo ha permesso di meglio inquadrare i modi di crescita in funzione delle soluzioni elettrolitiche da cui il metallo viene depositato, rivitalizzando la classificazione di Piontelli sul comportamento elettrocinetico dei metalli, quantificata con l'introduzione del parametro di normalità-inerzia. La capacità di controllare i parametri che influenzano la crescita degli strati metallici ha permesso di identificare la possibilità di crescita cellulare negli strati elettrodeposti, come intermedia verso la crescita dendritica in condizioni di elevata inibizione superficiale [fig.6*].

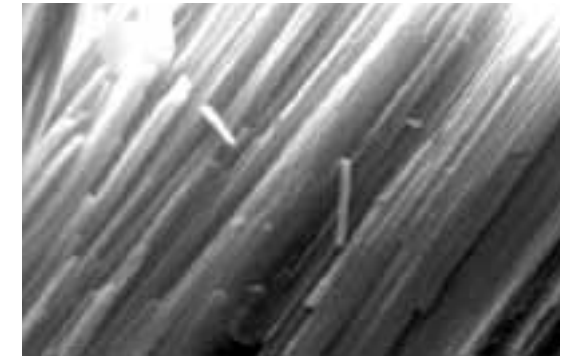
Lo studio si sta evolvendo verso la definizione della transizione amorfo-nanofase, che permette di meglio comprendere gli straordinari aumenti di caratteristiche meccaniche nei metalli con grani di dimensione nanometrica [fig.7*].

Le ricerche sulle applicazioni sono state condotte con le principali industrie del settore. Con IBM, Celestica e con ST si sono studiate le tecniche di *interconnessione* per elettronica; si è esaminata la connessione elettrica mediante rame elettrodeposto dei multistrati nei circuiti integrati, con "superriempimento" dei buchi passanti ("via hole"), che diventano sempre più lunghi e sottili e devono essere esenti da difetti; si sono esaminate le tecniche di saldobrasatura per i circuiti stampati, sviluppando nuovi processi che permettono di definire meglio le giunzioni e di ridurre i rischi tecnologici derivanti da lavorazioni sulle schede sempre più onerose.

Una ricerca più che ventennale è stata condotta con Pirelli Pneumatici sul cord metallico, e su come realizzare la sua superficie, sia per ottonatura, in due passi e diffusione o in passo singolo, sia esaminando possibili alternative, come le leghe zinco-manganese di interesse per le grandi gomme da camion.

Gli studi sulla possibilità di ridurre i fenomeni di attrito alle interfacce con cemento meccanico fortemente localizzato, hanno interessato sia le industrie che sviluppano mezzi di trasporto, FIAT e Ferrari, sia le industrie metalmeccaniche, e sono stati sviluppati con l'aiuto delle industrie che realizzano trattamenti superficiali per il settore. Sono stati esaminati strati con altissima resistenza ad usura in carbonio tipo diamante (DiamondLikeCarbon), cresciuti in modo diverso e con diverse proprietà [fig.8*]. Sono anche stati realizzati strati ottimali di questo tipo per deposizione da fase gas a plasma

7. Elettrodeposito di cromo da elettroliti trivalenti con durezza maggiore di 1500 HV
3 m m



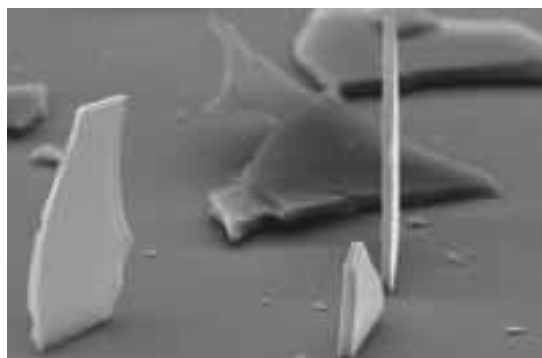
▶ at the surface for all innovative applied fields. In the "Natta" department, studies on processes at surfaces are performed to promote new interesting materials, with particular electric and magnetic properties, as well as with improved corrosion and wear resistance. Fundamental studies regarded growth of metallic layers from aqueous solutions, introducing cluster growth, as a third growth process after lateral and outgrowth, to explain the behaviour in complexed solutions. Cellular growth by electrodeposition was determined controlling the operation parameters and identified (Fig.6). Nanocolumns were deposited, permitting a better understanding of the extraordinary increase of the mechanical properties in

nanometer size metals (Fig.7). Most important researches were carried out in co-operation with most important companies of the field, such as IBM, Celestica and STM for interconnections in microelectronics, or Pirelli Pneumatici for steel cord adhesion to rubber in car tyres. Studies concerning the possibilities of reducing friction phenomena at the interfaces were developed with car and transport industries (FIAT-Ferrari), together with industries where surface treatments are made. DLC (Diamond Like Carbon) layers with very high wear resistance were grown in different ways obtaining different properties (Fig.8). The laboratory is an important development centre for Italy and Europe, becoming the most important Italian ▶

8.A.

Rivestimenti in materiale ceramico tipo diamante DLC per la distribuzione nei motori di Formula 1 molto fragili e con pezzi di circa 20 micron

10.0 m m



► institution in the field. The laboratory was involved as organiser and partner in several European projects on the production of nanometer layers, in particular for magnetic materials. It has developed studies on gold and gold alloys layers for the Italian industry, the most important European jewellery production industry. The laboratory has often supported industries in the developing of new production processes (e.g. studies with Alcan on the Tandem project for the production of aluminium sheets). The research laboratory had also a central role in promoting the degree in Surface Treatments Engineering, as a professional option in Materials Engineering, where docents coming from the industry support

the academic teachers, giving new perspectives to the formation of technicians for the 10.000 industries working in the field.

trasferito. L'accoppiamento con strati monorientati elettrodeposti ha permesso di proporre soluzioni innovative a problemi ancora scottanti come la tenuta nelle pompe ad acqua.

Il laboratorio metallurgico è diventato centro di riferimento per le industrie galvaniche, e più in generale dei trattamenti di superficie, italiane ed europee, sviluppando studi su tutti i maggiori problemi che riguardano il settore: dall'implementazione degli strati resistenti ad usura, con lo studio delle alternative alla cromatura, per mezzo dell'analisi degli elettroliti a base di cromo trivalente e con lo sviluppo dell'elettrodeposizione di compositi micrometrici e nanometrici; allo studio di alternative ai rivestimenti di zincatura tradizionale (in crisi soprattutto per la finitura di cromatazione) con l'introduzione di leghe di zinco innovative e l'analisi delle alternative; all'esame del processo di elettroformatura, con Medialario, che ha permesso di realizzare in Italia specchi satellitari.

Il laboratorio è stato coinvolto, come organizzatore e proponente, in diversi programmi europei, sviluppati con centri di ricerca belgi, tedeschi, portoghesi e inglesi, sulla realizzazione di multistrati elettrodeposti di dimensione nanometrica e sulla loro applicazione come strati magnetici. Si sono realizzati per la prima volta in Europa multistrati Co/Cu a magnetoresistenza gigante e micromagneti in Co-Pt di elevata forza coercitiva. Si è messo in evidenza la possibilità di controllare la forma dei cicli di isteresi magnetica, parallelo e perpendicolare, definendo la struttura ottimale degli strati deposti. I risultati stanno trovando applicazione nello sviluppo di sensoristica per interruttori e caldaie.

Con LETI e Silmag di Grenoble è stato possibile mettere a punto il ciclo di produzione di testine magnetiche per elettroformatura, sviluppando la deposizione di Permalloy su wafer di Silicio fotolitografati ed i trattamenti da effettuare per aumentare la permeabilità magnetica.

Con Europa-Metalli si sono sviluppati studi sull'inverdimento in laboratorio del rame e sul modo di variare il colore dal verde all'azzurro, ottenendo per via sintetica i composti che vengono prodotti sul rame dall'esposizione ambientale.

Il laboratorio è stato anche referente principale di una serie di programmi ministeriali di innovazione sull'oro, che hanno permesso di ottenere alcuni risultati fondamentali, come la comprensione dell'infragilimento da idrogeno nei trattamenti delle leghe d'oro, la proposta di possibili alternative alle

8.B.

Distacco di DLC (circa 50 micron) per fatica dalla superficie di substrato, in caso di non perfetta preparazione

50.0 m m



leghe di oro bianco impiegate, in modo da escludere nichel e cadmio, e la sostituzione della rodiatura con leghe bianche di oro elettrodeposte. Il gruppo di laboratori affronterà ora il tema delle leghe d'oro a memoria di forma.

Numerosi sono anche stati gli interventi di supporto all'industria impiantistica per lo sviluppo di processi metallurgici produttivi e sullo studio di processi ed impianti per il recupero degli effluenti per estrazione con solventi; in particolare è in corso lo studio con Alcan del processo Tandem per la produzione diretta di foglio di alluminio.

Lo studio dell'anodizzazione dell'alluminio ha riguardato sia il processo, definendo le condizioni migliori di conduzione della corrente imposta, il modo di realizzare i circuiti di alimentazione delle vasche, sia soprattutto il prodotto, analizzando e distinguendo le morfologie del polverino atmosferico e di fissaggio, e sviluppando una metodologia per l'individuazione del comportamento a corrosione, basata sull'imposizione di corrente catodica e sullo studio dei transienti di tensione a impulso di corrente catodica imposta.

Il ruolo del laboratorio metallurgico è stato anche fondamentale nel promuovere l'Orientamento pro-

fessionalizzante in Ingegneria dei Trattamenti di Superficie della Laurea in Ingegneria dei Materiali, che ha costituito un esempio di apertura ai tecnici del mondo industriale, richiamando molti di essi per dare prospettive applicative e sul mondo del lavoro in un settore che rappresenta quasi diecimila aziende in Italia e rappresenta il 3% del PIL italiano.