

FRANCO GATTO (*)

Il contributo italiano alla moderna metallurgia fisica (**)

Introduzione

In un lavoro del 1929 il prof. Parravano, occupandosi di leghe ultraleggere, scriveva quanto segue:

« La resistenza a trazione è ben lungi dal rappresentare una costante fisica del materiale: non è che il valore medio, approssimato, della sua resistenza alla deformazione, e questo valore non è legato in nessun modo diretto alla coesione, cioè alla vera resistenza alla rottura.

È in base a queste considerazioni che si vanno cercando e sviluppando metodi nuovi e nuovi concetti per le prove meccaniche dei materiali.

Occorre cercare di conoscere la natura vera di molti metalli e leghe, sviluppatasi in questi ultimi anni, le cui proprietà e caratteristiche sono talmente diverse da quelle dei materiali ferrosi, da non consentire confronti di nessun genere, né di estendere i concetti sviluppati con questi ultimi attraverso tanti anni di pratica. »

La preveggenza di queste frasi è stupefacente. Non credo di esagerare se affermo che si deve a segnali di questo genere la nascita della fisica dei metalli, per cui mi è sembrato di rimanere vicino allo spirito di questa giornata illustrando alcuni notevoli, e non da tutti conosciuti, contributi italiani al progresso della metallurgia moderna, più che effettuando una semplice cronaca dei risultati ottenuti nel campo delle leghe leggere.

(*) Presidente del Centro Metalli Leggeri dell'AIM.

(**) Relazione presentata al Convegno sullo sviluppo della Scienza dei Metalli in occasione della celebrazione del centenario della nascita di Nicola Parravano (Roma, 6 novembre 1984).

Rimango comunque ugualmente nel tema assegnatomi perché tali risultati discendono in maniera abbastanza diretta dalle ricerche sui difetti reticolari, che a loro volta sono da considerare il punto di arrivo naturale di un filone di studi avviato in Italia all'inizio del secolo, da cui anch'io desidero partire. Non intendo sostenere che abbiamo fatto tutto noi, per carità, ma solamente che abbiamo dato consistenti contributi, superiori a quanto comunemente si crede.

Nuovi concetti sulla resistenza meccanica

Quando si sono effettuati i primi calcoli teorici sulla coesione dei solidi cristallini, e si sono cercate le relazioni con le diverse grandezze fisiche (compressibilità, coefficienti di deformabilità elastica, ecc.) ci si è accorti che nei metalli esisteva un fortissimo divario tra la effettiva resistenza dei metalli puri e le resistenze teoriche.

È stato naturale pensare (Griffith a partire dal 1924, e poi Orowan) che una delle cause potesse essere ricercata nella presenza, nei solidi reali, di difetti costituiti da soluzioni di continuità (cavità, microcrepe, ecc.) che agendo da intensificatori degli sforzi abbassavano la resistenza globale apparente degli stessi.

D'altra parte era anche necessario dare una spiegazione della capacità dei metalli di essere deformati permanentemente, anche a tassi eccezionalmente elevati.

Si giunge così, nel 1935 ad opera del Taylor, ad un modello di deformazione plastica dei metalli mediante slittamenti elementari di taglio semplice, capace di spiegare la alta deformabilità dei metalli, e che subito mostra di essere capace di spiegare anche i bassi valori della resistenza meccanica, perché al bordo delle superfici di slittamento sono presenti campi di sforzo notevolmente elevati, contemporaneamente ad una diminuzione della coesione.

Nell'analizzare il modello del Taylor ci si accorge ben presto che esso presuppone la formazione di un nuovo tipo di difetto reticolare, più complesso e di diversa natura di quelli, puntiformi, già noti (stomi in posizioni non reticolari, posizioni reticolari non occupate, ecc.). A tali nuovi difetti viene assegnato il nome di *dislocazione*, precedentemente proposto dal Love come traduzione del termine *distorsione* già impiegato da Vito Volterra nello studio di particolari stati di deformazione.

Per comprendere la natura delle dislocazioni, gli effetti di intensificazione degli sforzi, la loro mobilità e l'associazione ad esse di campi di sforzi indipendenti da sollecitazioni esterne, è conveniente seguire il metodo storico, anche se così facendo andremo incontro ad una certa discontinuità del discorso. Tale discontinuità è inevitabile in metallurgia dato il carattere polidisciplinare della stessa, ed il conseguente carattere « a sbalzi specializzati » dell'avanzamento delle conoscenze.

Il primo sbalzo che ci interessa avviene all'inizio del secolo, nella teoria della deformazione, più precisamente nella teoria matematica dell'elasticità.

Essa tratta in generale corpi continui, e si adottano funzioni matematiche

ugualmente continue, con le loro derivate prime e seconde, per rappresentare gli spostamenti dei punti.

Se si trascurano le forze di massa, tali corpi in assenza di forze esterne si dovrebbero trovare nel loro stato naturale, che dovrebbe essere caratterizzato da assenza di deformazioni locali, e di sollecitazioni interne.

Che ciò non sia necessariamente vero incominciò ad apparire chiaro verso la fine del secolo scorso nei lavori che andava svolgendo Michele Gebbia (pubblicati nel 1902, negli *Annali di matematica*); comunque è nel 1901 che Julius Weingarten presenta all'Accademia dei Lincei, di cui era socio, un lavoro sull'argomento, meno ampio ma più puntualizzato di quello del Gebbia.

Alcuni anni dopo, nel 1905, il Volterra sviluppa il lavoro del Weingarten (il lavoro del Gebbia gli era stranamente sfuggito) in una serie di note sul carattere topologico e sulle caratteristiche di una classe particolare di deformazioni di Weingarten, che chiama « distorsioni », e ne presenta i modelli geometrici e fisici.

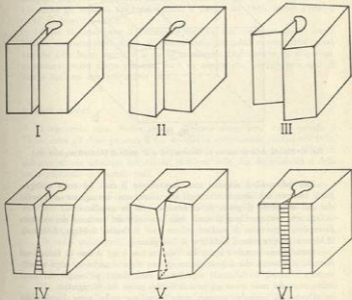


Fig. 1a

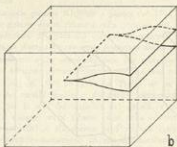
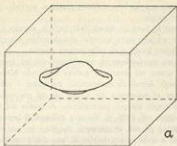


Fig. 1b

Fig. 1 - Modelli delle distorsioni di Volterra (1a) e di quelle di Gebbia-Somigliana (1b).

Tali deformazioni singolari sono trattate per il caso dei corpi multiplamente connessi, e le discontinuità degli spostamenti sono immaginate su superfici che pur riducendo il grado di connessione non lo annullano.

Si apre così un filone di studi della meccanica del continuo che richiama l'attenzione soprattutto di studiosi italiani quali il Cesàro, il Maggi, l'Almansi, il Moera e soprattutto il Gebbia e il Somigliana.

Quest'ultimo estende i lavori del Volterra, non è qui il caso di entrare nei dettagli, e dimostra che è possibile avere stati distorti anche in corpi semplicemente connessi, introducendo superfici di discontinuità all'interno dei corpi stessi, come del resto aveva già fatto il Gebbia prima del Weingarten.

Distorsioni analoghe possono essere introdotte anche senza l'ausilio dei tagli e dello spostamento relativo delle facce, per esempio per mezzo di dilata-

zioni dovute a differenze di temperatura, o di deformazioni plastiche o viscoso; tale importante concetto fisico è dovuto al Colonnetti, a cui si deve anche il 2° principio di reciprocità delle deformazioni elastiche, particolarmente utile nello studio di questo tipo di deformazione, localmente non congruente.

Su questo filone di ricerche esistono, nel periodo considerato, solo due lavori non italiani (a parte Weingarten): uno di J.H. Michell del 1900, e uno di A. Timpe del 1905.

Anche se dobbiamo constatare l'esistenza di lacune nella reciproca conoscenza dei lavori (quello del Gebbia, molto completo e importante rimane stranamente ignorato, e se ne trova traccia solo in una breve annotazione in una nota del Somigliana) si può affermare che su questo filone di ricerche si è avuta una singolare ed esclusiva concentrazione di interesse di studiosi italiani, tanto che non mi sembra esagerato parlare di una vera e propria scuola italiana.

Con la soluzione completa del problema matematico delle deformazioni localmente non congruenti il filone italiano sembra esaurirsi, anche se il Colonnetti, che ne aveva compreso la grande importanza applicativa, continuerà ad occuparsi degli stati di coazione elastica istituendo un apposito Centro del C.N.R. e favorirà gli studi di fisica dei metalli, a partire dal 1946, presso l'Istituto O.M. Corbino del C.N.R.

Come abbiamo visto il Parravano, che pur non conosceva questi lavori, intuisce autonomamente che la spiegazione delle particolari caratteristiche metallurgiche delle leghe leggere e di quelle ultraleggere (indurimento da alligazione, scorrimento sotto sforzo costante, ecc.) va cercata con modelli meccanici di nuovo tipo, ma non può andare oltre.

I difetti reticolari

L'argomento viene invece ripreso all'estero alcuni anni dopo, quando il Taylor come già detto presenta il suo modello di deformazione plastica nel 1935.

L'idea appare molto feconda perché lascia intravedere la possibilità di giungere ad una soluzione unitaria del problema della alta deformabilità e della bassa resistenza dei metalli reali.

Per effettuare i calcoli necessari si ricorre al modello del corpo continuo e si scopre così, ritengo grazie alle citazioni contenute nel trattato del Love, anch'esso Linceo, l'esistenza dei lavori del Volterra. Il filo viene annodato e si riconosce subito che il modello del Taylor non è che la estensione al cristallino di uno dei tipi del Volterra.

In realtà erano quelli del Gebbia che andavano presi a riferimento perché suscettibili di essere presenti in corpi ordinari, cioè semplicemente connessi; ciò avverrà in tempi più vicini a noi, quando le distorsioni di Somigliana verranno impiegate negli studi sulla frattura.

Il Volterra aveva infatti considerato il caso di un corpo continuo costituito da un cilindro cavo, quindi doppiamente connesso. Egli aveva immaginato di aver praticato un taglio con un semipiano partente dall'asse e di aver

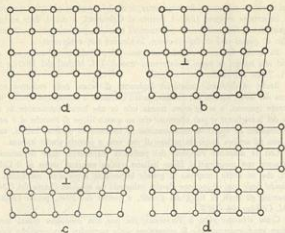


Fig. 2 - Dislocazione di Taylor in movimento durante la deformazione plastica.

dato alle due facce del taglio spostamenti rigidi, ottenendo 6 casi distinti, 3 dei quali corrispondenti a spostamenti paralleli agli assi di riferimento, e 3 a rotazioni intorno agli stessi assi.

Per i nostri scopi sono importanti i 3 spostamenti paralleli, e Volterra dimostra che due di essi sono equivalenti, per cui i casi da considerare sono solo quello con spostamento parallelo e quello con spostamento perpendicolare all'asse del cilindro.

Se si risalcano tra loro le due facce, dopo aver tolto o aggiunto materiale per ristabilire la continuità del corpo, si congela in esso uno stato di sollecitazioni in equilibrio, indipendentemente dalla presenza di forze esterne applicate.

Si deve tenere presente che il raggio della cavità interna del cilindro non può ridursi a zero, il corpo non può cioè divenire semplicemente connesso, perché altrimenti si avrebbero sollecitazioni di valore infinito e discontinuità della deformazione, in corrispondenza dell'asse.

Il richiamo al Volterra non significa, però, un puro e semplice ritorno indietro nel tempo: la differenza tra il continuo ed il reticolare è troppo grande e lascia spazio per nuovi grandi sviluppi.

Esaminiamo il modello di Taylor quando lo slittamento non ha ancora attraversato tutta la sezione: la situazione è analoga a quella della distorsione

di Volterra con spostamento perpendicolare all'asse, se trascuriamo, per ora, la punta di avanzamento dello slittamento. L'estensione al reticolare del secondo caso del Volterra avviene ad opera di Burgers nel 1939.

Per completare l'analogia con Volterra si deve immaginare l'esistenza di un cilindro cavo associato al fronte di avanzamento dello slittamento, di dimensioni pari almeno alla distanza reticolare. Chiaramente in corrispondenza di questo bordo alcuni legami saranno più deboli causa la forte distorsione del reticolo, e si avranno inoltre forti effetti di intensificazione degli sforzi, a causa della forte concentrazione degli effetti; lontano da questa zona il reticolo è invece del tutto regolare a piccola scala.

Vi è un fatto nuovo che si presenta quando si va a verificare la regolarità del reticolo, a grande scala: un circuito "rettangolare" contenente una dislocazione rimane aperto, e questo è il segno che la deformazione ad essa associata non è congruente. Nei solidi cristallini al concetto di congruenza si sostituisce quindi quello di regolarità: appare subito chiaro che l'irregolarità è concentrata nelle immediate vicinanze del bordo interno della superficie di slittamento. Non deve quindi sorprendere se si è finito per impiegare il termine « dislocazione » per

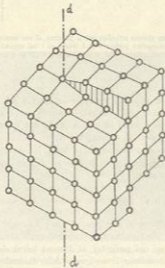


Fig. 3 - Dislocazione di Burgers.

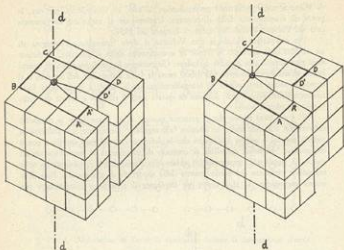


Fig. 4 - Irregolarità di un circuito reticolare per la presenza, al suo interno, di una dislocazione: un circuito è detto « reticolare perfetto » se è chiuso ed i lati opposti contengono un uguale numero di elementi reticolari ($d-d$ = dislocazione; $A'-D'$ = difetto di chiusura).

indicare il difetto di regolarità reticolare associato a tale bordo, anziché la superficie di scorrimento (del resto già il Volterra aveva subito avvertito che tale superficie non aveva molta importanza perché una stessa distorsione poteva essere realizzata con piani di slittamento diversi).

Le cose divengono più complicate se due o più dislocazioni si incontrano o si incrociano; la forza che occorre applicare per farle muovere diviene più alta, cioè il materiale incrudisce.

Quando si introducono dislocazioni in gran quantità (figg. 4 ÷ 7) esse interagiscono tra loro sia elasticamente attraverso i loro campi di distorsione, sia meccanicamente con il prodotto delle non congruenze, dando vita a complessi molto stabili, specialmente se sono presenti elementi estranei capaci di interagire con le dislocazioni e le loro strutture (indurimento da incrudimento).

Senza entrare nei casi particolari, si dimostra infatti che gli atomi di alligazione rendono più difficile il movimento delle dislocazioni (indurimento da soluzione solida, esaltato dalla tempra di sovrassaturazione) e che tale induri-

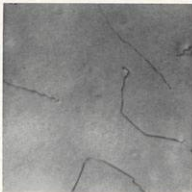


Fig. 5 - Micrografia elettronica per trasmissione di un laminato di Alluminio ricotto: si notano solo isolate dislocazioni. ($\times 30.000$).

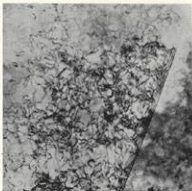


Fig. 6 - Micrografia elettronica per trasmissione di un laminato di lega AlMg: si notano numerose foreste di dislocazioni stabili prodottesi durante la deformazione di laminazione. ($\times 30.000$).

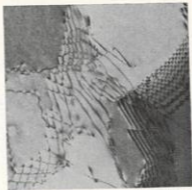


Fig. 7 - Micrografia elettronica per trasmissione di un laminato di lega Al-Mg: si notano strutture di didilazioni organizzate prodottesi per effetto di un trattamento di ricottura dopo l'incrudimento. ($\times 40.000$).

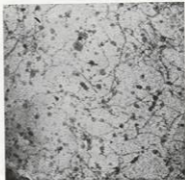


Fig. 8 - Microscopia elettronica di una lega Al-Zn-Cu-Mg: si nota l'interazione tra le didilazioni e le fasi indurenti della lega. ($\times 25.000$).

mento può aumentare notevolmente se si riesce a far aggregare tali atomi in maniera opportuna (indurimento da invecchiamento).

Da quanto detto appare una visione sorprendentemente unitaria dei meccanismi (pure tentata con successo, ma con tecnologie molto costose e con prodotti molto particolari), senza le quali non avremmo deformabilità, quanto di tenerle sotto controllo e di determinarne il comportamento.

È chiaro quindi che la via da seguire non è quella di combattere le dislocazioni (pure tentata con successo, ma con tecnologie molto costose), senza le quali non avremmo deformabilità, quanto di tenerle sotto controllo e di determinarne il comportamento.

Il problema dell'indurimento a questo punto cambia aspetto: non si tratta più di aumentare la resistenza meccanica ma, per così dire, di diminuirne la riduzione. Non è un bisticcio di parole, ma una precisa nuova strategia da seguire.

Questi semplici modelli sono alla base della moderna metallografia fisica; l'uso del microscopio elettronico rende ora possibile controllare direttamente e passo passo tutta l'evoluzione dei difetti reticolari e delle fasi indurenti, permettendo così di procedere con metodo scientifico alla ricerca di nuove strutture più favorevoli.

I contributi italiani alla teoria delle dislocazioni non sono stati importanti, ma è un italiano il primo a scoprire un effetto che permette la dimostrazione fisica diretta dell'esistenza delle dislocazioni: P.G. Bordoni scopre infatti nel 1948 l'effetto che da lui prende il nome, che consiste nell'inattesa esistenza alle bassissime temperature di un massimo dello smorzamento delle vibrazioni meccaniche, effetto che è direttamente collegabile con l'esistenza delle dislocazioni. La microscopia elettronica TEM verrà molto dopo a fornire belle e chiare immagini visive delle strutture di dislocazioni.

Sempre al Bordoni si deve l'avvio di una interessante attività sperimentale nel campo della fisica dei metalli che ha permesso a noi italiani di riprendere i contatti con questo filone della moderna ricerca metallurgica.

È stato così possibile ai nostri laboratori di inserirsi senza ritardo in questi studi e di avviare ricerche modernamente orientate, e soprattutto di realizzare il profondo mutamento della strategia della ricerca, di cui ho già accennato, in molti casi in anticipo rispetto ai corrispondenti laboratori stranieri.

La ricerca metallurgica italiana

Dato il carattere di questa giornata, ed il poco tempo a disposizione, mi sembra opportuno cambiare a questo punto argomento e dire poche generiche parole sulla ricerca metallurgica italiana.

Essa nasce, come attività sistematica, con la fondazione dell'Istituto scientifico tecnico Ernesto Breda, nel 1917, e con l'avvio delle sue attività nel 1921. È il prof. Parravano che realizza il disegno dell'ing. Breda e che imposta il carattere dell'istituto e delle sue attività.

È presso questo istituto che vengono avviate in Italia le prime ricerche

sulle proprietà fisiche e meccaniche delle leghe leggere e ultraleggere, con lavori di Parravano, Scorteci, Guzzoni, Musatti, Dainelli e Bosino.

E' prendendo a modello l'impostazione che il Parravano ha dato all'Istituto Breda che nel 1938 viene organizzato l'Istituto Sperimentale dei Metalli Leggeri. Si notano profonde analogie tra i due istituti per quanto riguarda la ampia e lungimirante visione del loro ruolo a sostegno delle industrie interessate, la generosa messa a disposizione dei loro mezzi a favore dei terzi ed il ruolo determinante che la ricerca scientifica di base doveva avere per lo sviluppo dei prodotti e delle relative tecnologie. Non ho dubbi che tutto ciò lo dobbiamo al prof. Parravano.

Per quanto riguarda le leghe leggere si può dire che il contributo italiano è stato di grande rilievo; un indice di ciò è dato dalla completa autosufficienza scientifica e tecnologica da noi subito raggiunta per opera del Panseri, e dalle numerose leghe e tecnologie sviluppate in modo originale.

Sarà sufficiente citare il caso delle leghe Al Mg per usi marini, e delle leghe ad alta resistenza del gruppo Al Cu Zn Mg; per queste ultime furono da noi messe a punto e commercializzate tre leghe denominate Ergal, a diverse caratteristiche; da esse sono poi derivate ad opera del Di Russo, le originali leghe Zergal, contenenti lo zirconio come elemento di bloccaggio a caldo delle dislocazioni, che ora sono prodotte ed utilizzate in tutto il mondo.

Parallelamente a questi studi metallurgici sono stati da noi condotti studi sperimentali sui difetti reticolari delle leghe leggere, mantenendo una posizione internazionale di primo piano: la caratterizzazione termodinamica e cinetica dei difetti puntiformi dell'alluminio svolta dal Federighi è tutt'ora punto di riferimento nello studio dei trattamenti termici delle leghe leggere.

Uguale importanza hanno avuto le prove di caratterizzazione del comportamento meccanico (trazione, durezza, fatica, scorrimento e frattura), nonché gli studi sulla corrosione e la tensocorrosione.

Da ultimo vorrei ricordare gli studi sulle diverse tecnologie delle leghe leggere (fonderia, trattamenti superficiali, saldatura e deformazione plastica), sempre condotti con il dovuto rigore scientifico e nulla concedendo all'empirismo. Anche in questi campi i risultati ottenuti sono stati di livello internazionale e del tutto validi anche dal punto di vista pratico applicativo.

Le leghe leggere

L'alluminio compare, se si accetta la priorità di H.C. Oersted, nel 1824 e rimane chiuso nei laboratori o considerato più prezioso dell'oro fin verso la metà del secolo, quando ad opera di H. Saint Claire Deville si passò alla produzione industriale. Le prime applicazioni delle leghe leggere come materiali da costruzione avvengono nel 1887 sulle strutture dei dirigibili, e nel 1903 nel motore dell'aereo dei fratelli Wright. La scoperta della lega Duralluminio, ad opera del Wilms, è del 1906.

Si tratta quindi di storia molto recente; la metallurgia dell'alluminio e

delle sue leghe è ancora giovane ed in continuo progresso: l'energia oggi necessaria per la produzione del metallo primario è quasi dimezzata ed il tetto delle proprietà di resistenza meccanica è quasi raddoppiato.

Per presentare le leghe leggere come materiali da costruzione è inevitabile entrare in argomenti a carattere scientifico tecnico perché l'empirismo ha presto esaurito il suo possibile contributo allo sviluppo di esse. In questo modo ci ricollegiamo a quanto ho detto all'inizio.

Per ottenere l'aumento della resistenza alla rottura per le leghe leggere non sono disponibili né strutture allotropiche, né l'inserimento di alliganti in posizioni interstiziali, tanto efficaci per il ferro; sono così disponibili solo l'incrudimento e la tempra di soluzione di cui ho già parlato.

Nella prima tecnica l'obiettivo è quello di mantenere stabili le strutture di deformazione, nel secondo di ottimizzare la distribuzione degli atomi eterogenei attivi.

Per rendersi conto del cammino che occorre percorrere basti pensare che l'alluminio ad elevato grado di purezza presenta:

resistenza alla deformazione	1,1 kg/mmq
resistenza alla rottura	4,5 kg/mmq

E' inoltre da tenere presente che l'alluminio purissimo, anche se lasciato a riposo, non conserva a temperatura ambiente le strutture indurenti di deformazione.

Fu subito tentata per imitazione la via dell'indurimento mediante alligazione e ci si accorse che gli effetti indurenti erano crescenti con il tenore dei metalli introdotti. Fu successivamente tentata, sempre per imitazione, la tempra accorgendosi che solo alcune leghe erano suscettibili di prendere tempra e che alcune di queste aumentavano sorprendentemente la loro resistenza rimanendo a temperatura ambiente (invecchiamento naturale) oppure a temperature superiori (invecchiamento artificiale). Tutto questo avviene in circa 20-30 anni, a cavallo del secolo quando ancora non sono disponibili i diagrammi di stato.

Tra le più importanti leghe da incrudimento sono da citare le leghe Al Mg, Al Mn e Al Si Mg; tra le leghe da trattamento termico quelle Al Cu, Al Zn, Al Cu Mg, Al Si Mg, Al Zn Mg e le Al Cu Zn Mg.

Il primo tentativo di interpretare l'indurimento da tempra venne tentato da Merica e altri nel 1919, quando si era ancora lontani dall'immaginare l'esistenza delle dislocazioni; si pensa alla precipitazione del composto Cu₃Al dalla soluzione solida sovrassatura ed è un buon inizio. Tali studi furono seguiti da altri fino al 1932, sempre prendendo a riferimento la distorsione elastica del reticolo: tale distorsione doveva spiegare, non si sa come, l'aumento della resistenza meccanica allo scorrimento sui piani cristallini.

In questo periodo di tempo, come accennato, non è stato ancora presentato il modello del Taylor, mentre la teoria dei solidi iperconnessi è ancora confinata tra i cultori italiani della teoria matematica dell'elasticità.

I metallurgisti delle leghe leggere capiscono comunque di essere entrati in un campo della metallurgia teorica diverso da quello degli acciai (si ricordino

le frasi del prof. Parravano) e di aver aperto una strada molto promettente con la scoperta del fenomeno dell'invecchiamento, e sviluppano contemporaneamente agli intensi studi sperimentali, numerose teorie che anche se non sono molto corrette operano come utile guida delle esperienze.

In questo periodo vengono definitivamente messe a punto le principali leghe attualmente in uso, che vengono completamente caratterizzate per i diversi impieghi.

Le esigenze dell'aeronautica militare, prepotentemente esplose durante l'ultima guerra ed il successivo dopo guerra, fanno polarizzare l'attenzione sulle leghe ad alta resistenza, ed in particolare sulle Al Cu Zn Mg. Anche in Italia, come abbiamo visto, si seguono questi studi ed una particolare attenzione viene posta sul cosiddetto « effetto pressa », cioè sulle strutture che si formano con la deformazione a caldo, e che sono molto stabili e molto resistenti.

L'interpretazione in chiave di aggregati di dislocazioni è subito da noi presa in considerazione, e nasce così l'idea di sviluppare un nuovo tipo di trattamenti, più complessi, che vengono denominati « termomeccanici ». Il principio è di bloccare parzialmente le dislocazioni e di provocare un parziale riassetto delle loro strutture, in modo da ottenere maglie di difetti più regolari e distribuite più uniformemente, da bloccare con un successivo trattamento.

Un secondo tipo di trattamento termomeccanico, che viene effettuato prima della tempra e indipendentemente da essa, consiste sempre nel parziale bloccaggio delle dislocazioni e nella successiva distruzione, così resa possibile, della struttura granulare di partenza, con marcato miglioramento dell'omogeneità e dell'isotropia del materiale finale (in questo secondo tipo di trattamento il bloccaggio solo parziale delle dislocazioni serve a rendere attivi il maggior numero di piani di scorrimento e quindi una più completa modificazione delle strutture dendritiche di solidificazione).

L'aumento della resistenza che così è stato possibile ottenere in leghe già molto spinte è stato del 10-15%: a titolo di curiosità dirò che in laboratorio siamo riusciti a giungere, con una lega tipo Zergal non commerciabile, fino a più di 80 kg/mm² di resistenza alla rottura, equivalente ad una di 240 kg/mm² per il ferro.

Sento il dovere di dire che la attenta cura che si riscontra nei lavori del Parravano sui metodi di prova, originali, da lui messi a punto per determinare le caratteristiche delle leghe leggere, ed il concetto che esiste una profonda interazione tra i metodi di misura e lo sviluppo di nuove teorie fisiche e metallurgiche, da lui implicitamente ma chiaramente espresso, hanno influenzato in maniera determinante l'attività italiana di ricerca nel settore delle leghe leggere.

E' per questa ragione che ho voluto qui ricordare quanto dobbiamo al passato. Contrariamente a quanto potrà aver dato l'impressione, è stato con la profonda umiltà di chi sente il dovere di rendere conto agli altri che ho voluto mostrare che, malgrado i pochi mezzi avuti a disposizione, anche noi italiani abbiamo portato i nostri non trascurabili contributi al progresso della metallurgia moderna. Già è stato possibile grazie al lavoro di alcune persone, tra le quali il Parravano, di eccezionale talento e intuizione, alle quali dobbiamo essere veramente grati.