

triennio del Progetto il bando di 70 borse di studio di cui 40 sono già state bandite (10 per il 1989, concluse al 30/6/1991, e 30 per il 1990 che sono state attivate in data 1/9/91); per il 1991 ne sono state previste ulteriori 30, da usufruirsi anch'esse presso Unità CNR o universitarie (SP1: n.5 borse; SP2: n.6 borse; SP3: n.6 borse; SP4: n.11 borse; SP5: n.2 borse). I fruitori delle borse sono inseriti nelle attività che si svolgono presso le Unità Operative, afferenti a tutti i Sottoprogetti in cui il Progetto si articola.

Attività internazionale.

I collegamenti a livello internazionale sono stati assicurati fin dall'inizio tramite i componenti del Comitato di Progetto e della Direzione che operano a stretto contatto con esperti stranieri anche nell'ambito di progetti internazionali e che hanno avuto l'opportunità di presentare le attività del Progetto ricevendo a livello Europeo richieste di informazioni particolareggiate sulle motivazioni e sull'organizzazione del Progetto stesso. In questo senso sono stati anche sostenuti dalla Direzione partecipazioni a convegni internazionali d'interesse per il Progetto.

Il Direttore del Progetto, che è membro dello Steering Committee dell'International Conference on Optical Fiber Sensors, ha avuto il prestigioso incarico di organizzare e presiedere la IX Conferenza Internazionale "Optical Fiber Sensors" (OFS-9) che si terrà a Firenze al Palazzo dei Congressi nel Maggio 1993. Inoltre il Direttore del Progetto, in qualità di Rappresentante Italiano della Commissione Radio Scientifica Internazionale (URSI) e di Presidente della Commissione Italiana URSI, mantiene in particolare contatti su argomenti considerati nel Progetto con i membri internazionali della Commissione D (Electronics and Photonics).

Infine da segnalare che nel 1991 sono stati presentati dalle Unità Operative del Progetto numerose comunicazioni a Congressi Internazionali che confermano la validità e l'interesse dei risultati che si stanno ottenendo nell'attività del Progetto.

Progetto Finalizzato - Tecnologie Meccaniche.

Direttore: Prof. Francesco Jovane

Le finalità sono la ricerca applicata sui sistemi avanzati di produzione (FMS), su componenti e tecnologie avanzate, su interazioni tra nuovi sistemi di produzione e contesto industriale. Ricerca su strumenti progettuali ed impianti pilota, tecnologie quali alta velocità, laser, montaggi; componenti e sottosistemi, quali macchine utensili, robot, stazioni laser, AGV.

Durata: 1983-1988 (1989 - 1991 Adempimenti di chiusura).

Il Progetto è articolato nei seguenti Sottoprogetti:

Sottoprogetto 1 - Sistema.

Individuazione e definizione delle correlazioni che caratterizzano i nuovi sistemi avanzati di produzione per sviluppare poi nuovi strumenti progettuali e impianti pilota; studio del rapporto tra nuovi sistemi avanzati di produzione e contesto industriale.

Le linee guida sono:

- Analisi delle problematiche
- Sviluppo di strumenti risolutori
- Studi di fattibilità di impianti pilota
- Indagini conoscitive e definizione del contesto ambientale
- Applicazioni operative e modelli d'intervento.

Partendo dallo studio del problema di produzione, che lega i prodotti ai nuovi sistemi di produzione, il Sottoprogetto ha sviluppato strumenti progettuali innovativi e un ambiente sperimentale per verificare gli stessi. Esso, inoltre, ha studiato le interrelazioni tra nuovi sistemi automatizzati di produzione e il contesto industriale.

Sottoprogetto 2 - Componenti.

Acquisizione di conoscenze su sottosistemi ed elementi componenti, nonché su processi necessari per la progettazione e realizzazione dei sistemi avanzati di produzione di FMS.

Le linee guida sono:

- Processi di lavorazione
- Unità operatrici
- Unità operatrici per lavorazioni non convenzionali
- Sottosistema logistico
- Sensori

Il Sottoprogetto ha sviluppato "elementi" di particolare rilevanza strategica in relazione ai nuovi sistemi di produzione, dalle nuove tecnologie (Alte velocità, laser, montaggi), ai componenti innovativi (macchine utensili, robot, stazioni per l'uso del laser, AGV), ai sensori.

Adempimenti di chiusura.

La Direzione, in linea con l'evoluzione operativa del PF verso la sua conclusione, ha svolto varie attività, tese tutte, all'attuazione degli obiettivi istituzionali tra i quali va ricordato il raccordo propulsivo verso l'attività di ricerca internazionale (EUREKA - FAMOS). Tanto premesso, le attività svolte, in particolare nel 1991, possono essere così sintetizzate:

- Acquisizione e verifica dei risultati conseguiti dalle Unità Operative;
- Sistematizzazione dei risultati, anche in relazione alle applicazioni, in un articolato data-base;
- Attività di trasferimento attraverso vari strumenti (documentazione, seminari, incontri, ecc.);
- Attività di lancio di progetti EUREKA FAMOS (sistemi flessibili automatizzati di Montaggio e Propulsione), che partendo da risultati del PF portano allo sviluppo di impianti pilota in vari settori manifatturieri;

- Organizzazione della International School of Technology per il trasferimento delle attività della ricerca al contesto industriale;
- Volume conclusivo sulle attività del PF organizzato secondo gli schemi adottati dai progetti CEE, che presenta, con modalità di facile accesso, la banca dati delle attività, partecipazione e risultati ottenuti. Fra questi vanno ricordati: gli strumenti avanzati di progettazione CAD-CAPP e dei sistemi avanzati di produzione di FMS. le nuove tecnologie relative all'alta velocità, al laser ed ai montaggi, prototipi innovativi di stazioni di misura, di macchine utensili, robot, stazioni per l'uso del laser, sistemi di movimentazione avanzata, impianti pilota di produzione.

Progetto Finalizzato - Tecnologie superconduttive e criogeniche.

Direttore: Prof. Antonio Barone

Le finalità sono quelle di mantenere e sviluppare capacità di concezione, progettazione, realizzazione e produzione di materiali superconduttori, di magneti ed avvolgimenti costituiti da tali materiali, di strumentazione e dispositivi elettronici superconduttivi, di componenti e sistemi criogenici necessari per ottenere le basse temperature alle quali gli effetti superconduttivi si manifestano. Mettere l'industria italiana sia pesante (energetica) sia leggera (strumentazione e microelettronica) in condizioni di mantenere le posizioni fino ad ora raggiunte sul mercato mondiale e di conquistarne delle nuove.

Durata: 1989 - 1992

Il Progetto è organizzato nei seguenti Sottoprogetti:

Sottoprogetto 1 - Magneti superconduttori.

Realizzazione di un magnete superconduttore per convertitore MHD alimentato a carbone.

Sottoprogetto 2 - Materiali superconduttori e criogenici.

Studio e realizzazione di materiali superconduttori a bassa (lega NBTi, ecc.) temperatura critica. Materiali superconduttori ad alta corrente critica.

Sottoprogetto 3 - Componentistica criogenica, criogeneratori, ecc.

Progettazione e realizzazione di criogeneratori, tecnologia di criostati speciali, apparati criogenici spaziali, apparati di misure criogeniche.

Sottoprogetto 4 - Strumentazione superconduttiva per il biomagnetismo.

Realizzazione di prototipo di strumentazione biomagnetica caratterizzata dalla possibilità di misurare i segnali magnetici (cerebrali) mediante un rilevato numero di sensori superconduttivi.

Sottoprogetto 5 - Dispositivi superconduttori.

Realizzazione di dispositivi superconduttori sia di tipo attivo che passivo per applicazioni su piccola scala: dispositivi a microonde, DC- Squid, rivelatori di radiazione, elettronica superconduttiva.

Stato di avanzamento 1991 (Terzo anno di attività).

Risultati ottenuti.

Nel 1991 le attività del Progetto sono proseguite in maniera molto proficua così come illustrato nella descrizione consuntiva dei singoli Sottoprogetti e come testimoniato dai risultati conseguiti.

Il processo di trasferimento dei risultati è naturalmente intrinseco alla struttura del Progetto stesso che vede un massiccio coinvolgimento della componente industriale ed una proficua interazione di questa con Unità Operative del CNR e dell'Università. Come di seguito specificato attività di divulgazione e trasferimento dei risultati conseguiti sono state oggetto di grande attenzione da parte del Comitato di Progetto e della Direzione.

Si sono sviluppate interazioni con altre iniziative di carattere nazionale.

Si è inoltre, come per il passato, attribuita grande importanza allo sviluppo di attività internazionali. Dato il carattere particolarmente di frontiera delle ricerche nel campo della Superconduttività, questo Progetto si è sviluppato in tutte le sue linee con una stretta interazione scientifica con i più qualificati centri di ricerca, Università e realtà industriali di tutto il mondo.

Infine il Progetto ha svolto un ruolo rilevante anche

per quanto attiene gli aspetti propri della formazione.

Con riferimento ai singoli Sottoprogetti si riportano nel seguito l'attività svolta e i risultati più significativi ottenuti nel 1991 in linea con gli obiettivi prefissati.

Sottoprogetto 1.

- 1) Realizzazione di un magnete superconduttore per convertitore MHD alimentato a carbone.
- 2) Sviluppo di magneti superconduttori ed ibridi per campi molto intensi.

L'attività delle unità di ricerca è stata concentrata sullo studio e la progettazione di magneti superconduttori a sella per applicazioni MHD (Magnetoidrodinamica) e su studi applicativi dei materiali superconduttori Al5 per alti campi.

Per quanto concerne l'attività sui magneti per MHD lo studio ha riguardato essenzialmente il magnete prototipo il cui progetto è stato sviluppato sulla base delle informazioni ricavate dalle numerose analisi condotte su selle di taglia dimostrativa. Anche in questo caso sono state esaminate diverse configurazioni a parità delle altre condizioni.

Al termine delle analisi menzionate è stato scelto il progetto di riferimento per il magnete prototipo le cui caratteristiche sono riassunte qui di seguito.

B0 (T)	5
Bmax (T)	5.8
Lunghezza attiva	2
Energia immagazzinata (MJ)	62
Volume conduttore (m3)	2.55
N. di spire	476 (17x28)
Sezione avvolgimento (mm2)	301.6x509.7
Jtotale (A/mm2)	27.6
Peso totale con criostato (t)	50
cavo CICC NbTi	rapporto Cu/sc 8.5:1

La scelta finale è stata operata sulla base delle analisi elettromagnetiche e strutturali effettuate dalle varie unità di ricerca coinvolte nel progetto, e costituisce il

punto di partenza per lo sviluppo del progetto esecutivo. Tale configurazione tiene conto non solo dei dati iniziali di progetto, ma anche di tutti i vincoli tecnologici e costruttivi evidenziati nel corso della ricerca.

Al fine di completare in modo estensivo lo studio sono poi state analizzate geometrie capaci delle stesse caratteristiche in termini di campo ed uniformità, ma con diverse densità di corrente. È inoltre stato ultimato un programma di conversione che riorganizza i dati ed effettuare le necessarie trasformazioni di coordinate per rendere accessibili ad un codice di stress analysis i valori delle forze di Lorentz calcolati nei punti di una griglia data.

Nell'intento di affrontare tutti i possibili aspetti connessi all'impiego in impianti MHD di magneti superconduttori sono stati valutati anche i fenomeni di perdita indotti dai campi dispersi durante i transitori veloci tipici della scarica rapida delle bobine.

Sono poi state effettuate valutazioni del campo magnetico nelle regioni esterne al magnete, tenendo anche conto dell'eventuale presenza di schermi ferromagnetici. La conoscenza del campo magnetico anche a grande distanza dal volume attivo del magnete è infatti importante, poichè l'induzione può assumere valori sufficienti a produrre significativi effetti sulla strumentazione, su oggetti magnetizzabili e sulle persone. Dato che i valori di campo riscontrabili a grande distanza dal magnete sono ancora relativamente elevati, si è verificata la possibilità di realizzare ed utilizzare uno schermo in materiale ferromagnetico al fine di ottenere una opportuna attenuazione di tali campi. È stata quindi effettuata un'analisi parametrica per valutare la distanza a cui dovrebbe essere posto lo schermo ed il relativo spessore. Sono inoltre state stimate le forze che agiscono su materiali ferromagnetici che si trovino nel raggio d'azione del magnete. Infatti se le

dimensioni di tali oggetti sono sufficientemente piccole ed essi sono liberi di muoversi o comunque non sono sufficientemente vincolati, le forze e/o le coppie che nascono possono portare a uno spostamento degli oggetti stessi e, al limite, alla loro levitazione.

Successivamente è stato portato avanti il progetto di dettaglio del magnete, in particolare è stato effettuato il progetto del cavo superconduttore per mezzo degli strumenti di calcolo messi a punto in precedenza e sono state redatte le specifiche tecniche per l'ordinazione, dopo aver individuato le tecnologie costruttive più adatte per la realizzazione del magnete ed i possibili fornitori; infine è stato emesso l'ordine presso uno dei fornitori.

È stata eseguita l'attività di progettazione costruttiva della bobina in tutti i particolari e in parallelo è iniziato il lavoro di progettazione della struttura meccanica. Poiché questo sarà il primo magnete a sella con cavo in condotto, non è disponibile alcuna esperienza precedente e quindi il problema è stato affrontato ex novo. Le varie ipotesi di struttura meccanica sono state convertite in progetti preliminari.

È stato eseguito il calcolo delle tensioni e deformazioni nelle varie soluzioni proposte e si è giunti alla definizione della geometria ottimale. Si è poi proceduto alla definizione dei dettagli, alla progettazione costruttiva e alla preparazione delle specifiche di fornitura. È stato inoltre eseguito lo studio e la progettazione delle attrezzature di fabbricazione (linea di avvolgimento, forma di avvolgimento e di impregnazione, attrezzature ausiliarie).

Le unità universitarie hanno proseguito l'attività sviluppando codici di ottimizzazione ed analizzando strutture magnetiche per magneti di taglia industriale.

Per quanto concerne la sezione alti campi, poiché non è pensabile arrivare alla costruzione di un magnete prototipo

ad alto campo di grandi dimensioni nell'ambito del PF del CNR, la ricerca è stata centrata sulla messa a punto dei calcoli e delle tecnologie e sulla verifica delle soluzioni trovate attraverso la costruzione di piccoli magneti in materiali Al5 allo scopo di verificare i criteri di progettazione e le metodologie costruttive per i grandi magneti ad alto campo e non per produrre magneti di piccole dimensioni.

A tale scopo sono state effettuate misure di proprietà meccaniche ed elettriche di componenti e misure funzionali sui piccoli avvolgimenti costruiti. In particolare usando le misure sui materiali sono stati raffinati e validati i codici di calcolo e, attraverso i test sui piccoli avvolgimenti, sono state verificate le tecnologie costruttive e di progetto.

Per il calcolo degli stress sono stati usati programmi per il calcolo degli sforzi legati al tiro in fase di avvolgimento, le dilatazioni termiche in fase di cottura ed impregnazione, i rilasci dovuti all'estrazione del mandrino, al cool down, all'energizzazione. Questi programmi si integrano all'uso di codici commerciali (ANSYS) ed a quelli di calcolo dei campi e delle forze elettromagnetiche. Questi programmi, in parte già esistenti sono stati modificati per tenere conto della cottura a 7000 C e delle caratteristiche diverse dei cavi e dei sistemi di isolamento usati, inoltre la maggiore precisione richiesta ha reso necessaria una migliore accuratezza nella conoscenza delle proprietà dei componenti.

È stata anche costruita una test facility per la prova di piccoli inserti (PR.IN.); questa è costituita da:

- un criostato verticale con diametro utile 300 mm completamente attrezzato con termometri, sonde di livello, flangia di chiusura, discendenti di corrente, schermi, valvole di sicurezza, linea di transfer, collegamento con il liquefattore del laboratorio criogenico;
- un magnete in NbTi con foro utile 110 mm, altezza 90 mm, campo al centro di 6 T (questo magnete è già in costruzione

- utilizzando un cavo s.c. acquistato anni fa da LMI nell'ambito dei vecchi P.F. Superconduttività);
- un secondo magnete eguale al primo è stato costruito e montato in asse con il primo (split coil) per aumentare la zona di campo utile;
 - un sistema di alimentatori, resistenze di protezione, interruttori per l'alimentazione dei magneti.

Nella test facility sono stati via via inseriti gli avvolgimenti da provare; i test consistevano in generale nella misura della corrente critica dell'avvolgimento a diversi valori del campo esterno ed a diversi valori di temperatura. Con acquisitori veloci sono state registrate le principali grandezze fisiche prima e durante il quench.

Il trasferimento di risultati e tecnologie è totale data la stretta collaborazione in atto fin dall'inizio delle attività tra le varie unità operative, incluse quelle industriali.

Sottoprogetto 2.

- 1) Superconduttori tradizionali
- 2) Superconduttori ad alta T_c

Le attività previste per il terzo anno di attività del Sottoprogetto 2 hanno avuto regolare svolgimento per quanto riguarda la parte a bassa T_c (Temperatura critica), regolarmente finanziata e svolta, mentre sono state penalizzate per la parte relativa all'alta T_c , a motivo del mancato finanziamento del secondo anno di attività (perché non autorizzato dal CIPE, costituendo fondi in aumento rispetto alla relativa delibera), e dell'attribuzione del finanziamento relativo al terzo anno alla fine di dicembre del 1991, appunto il terzo anno di attività. Comunque, nonostante quanto detto, come si vedrà nel prosieguo, anche l'attività relativa ai materiali ceramici ad alta T_c è avanzata ed ha portato ottimi risultati.

Nel settore delle ricerche sui materiali

superconduttori a bassa T_c , la ricerca si è concentrata sulla produzione e sulla caratterizzazione di leghe Nb-Ti atte alla produzione di cavi superconduttori idonei all'avvolgimento di magneti, partendo dalla produzione della lega base fino alla realizzazione del cavo, con particolare riferimento all'idoneità della lega (omogeneità, dimensioni dei grani, impurezze ecc.) alla produzione dei cavi.

Per quanto concerne i materiali ceramici ad alta T_c , l'attività del terzo anno del Sottoprogetto 2 si è articolata nell'ambito del programma stabilito secondo quattro linee di ricerca:

- 1) Ricerche volte alla fabbricazione di strati sottili ad alta temperatura critica.
- 2) Ricerche volte alla realizzazione di schermi elettromagnetici da utilizzarsi in misure biomagnetiche.
- 3) Ricerche finalizzate alla preparazione di materiali ad alta corrente critica in campo magnetico per applicazioni nel settore del trasporto di energia e per avvolgimenti magnetici.
- 4) Ricerche volte all'aumento delle conoscenze della fisica di base del fenomeno, finalizzate dal fatto che un aumento delle conoscenze nello studio del meccanismo superconduttivo ha implicazioni strategiche nella ricerca esplorativa di nuovi materiali ad alta temperatura critica e quindi foriero di risvolti di interesse tecnologico.

Superconduttori tradizionali.

Sono stati prodotti e caratterizzati cavi superconduttori in lega Nb-Ti, da utilizzarsi, fra l'altro, per avvolgimenti di magneti dipolari necessari per il programma MHD (v. Sottoprogetto 1). Dal lavoro svolto è emerso, fra l'altro, che la qualità della lega acquistata è ben lungi dall'essere costante qualitativamente; in taluni casi, infatti, si rilevano rotture durante la deformazione che sono attribuibili alle cause più disparate: precipitati di

fassi estranee, inquinamento da ossigeno ed in alcuni casi anche "incotti", ossia parti non fuse nella lega. Pertanto sono stati messi a punto metodi di caratterizzazione mirati alla finalità della deformazione.

Per quanto concerne poi la produzione della lega base, esistendo nel mondo pochissimi produttori di tale materiale, venduto in pratica da una sola ditta americana, nel terzo anno di attività è stata portata avanti l'attività di due Unità Operative allo scopo di acquisire il know-how relativo alla preparazione della lega Nb-Ti. Durante il terzo anno è stato prodotto un secondo lotto di lega che ha mostrato un comportamento alla deformazione decisamente superiore al primo lotto, anche se non del tutto soddisfacente; in pratica, in una fase della lavorazione si è verificato un inquinamento da alluminio inspiegabile; si è attribuito tale inquinamento ad una fase della deformazione plastica, ma la cosa non è stata ancora completamente chiarita. Oltre a ciò, nel terzo anno è stata completata la "test facility" relativa ai campi intensi pulsati. Tale apparecchiatura è a disposizione di tutte le U.O. del Progetto.

Superconduttori ad alta Tc.

L'attività del settore, anche nel terzo anno ha portato ad ottimi risultati.

Fabbricazione di strati sottili ad alta temperatura critica.

Per quanto concerne la preparazione, durante il terzo anno sono proseguiti gli studi su due vie: lo sputtering reattivo e la laser ablation. Ambedue le strade hanno portato a risultati eccellenti: i due metodi hanno portato a film superconduttori con transizioni attorno a 90K e con una larghezza di transizione inferiore al grado. Anche la ripetibilità dei risultati è eccellente, e si pur affermare che tali metodi sono già estrapolabili nella pratica industriale. Il passo seguente sarà la realizzazione di

prototipi di dispositivi.

Anche i metodi mediante Laser Ablation, hanno condotto a splendidi risultati sia di qualità che di ripetitività, tanto da far pensare ad un trasferimento alla prassi industriale; anche in questo caso, il passo da fare ancora è la realizzazione di prototipi.

Gli studi sull'assorbimento nel lontano infrarosso sono stati completati durante il terzo anno ed il futuro di tali studi consisterà nella realizzazione di tali prototipi in collaborazione con le Unità Operative produttrici di film.

Schermi elettromagnetici

È stata ottenuta nel terzo anno la prima transizione superconduttiva di strati depositati su matrice metallica con una tecnica non convenzionale basata sullo spray supersonico della polvere sul substrato.

Materiali ad elevata corrente critica

Esiste una strettissima collaborazione fra le Unità Operative attive in questo settore che ha portato durante il terzo anno di attività all'avanzamento degli studi su tecniche di "melt texturing", di produzione di cavi mediante la tecnica "powder in tube" nonché svariate tecniche di produzione di polveri mediante sistemi alternativi. I principali risultati sono:

Prototipo di cavo in BSICO in grado di portare correnti fino a circa 50.000 A/cm² a 4.2K ed in campo magnetico oltre i 15 tesla;

Materiali della famiglia dell'YBCO opportunamente prodotti allo scopo di introdurre opportuni centri di pinning attivi ad alta temperatura (77K) in campo magnetico; alcune indicazioni fanno pensare ad un risultato in termini di corrente critica dell'ordine di 15.000A/cm² a 5 tesla ed a 77K.

Tali materiali si stanno anche rilevando molto interessanti per ciò che concerne la levitazione e la

sospensione magnetica mediante intrappolamento del flusso.

È stato anche concluso lo studio per la realizzazione di un discendente per l'alimentazione di magneti superconduttori. La realizzazione è prevista per il prossimo anno.

Caratterizzazione volta all'aumento delle conoscenze.

I principali risultati in termini di acquisizione di conoscenze sono costituiti per lo più da misure interessanti quali la riflettanza e l'assorbimento IR-Vis. fotoindotto, il Raman IR, la dissipazione acustica, la spettroscopia Mossbauer, l'assorbimento di microonde, moto dei flussoni, effetto Kondo, proprietà magnetiche, EELS, XPS, Auger, fotoemissione X, ESR, EPR, NMR, NQR, calore specifico, ecc.

Sottoprogetto 3.

- 1) Criogeneratori.
- 2) Progettazione tecnologie e costruzione di criostati speciali.
- 3) Tecniche criogeniche per impieghi nello spazio.
- 4) Misure di grandezze fisiche a basse temperature e monitoraggio degli impianti criogenici e superconduttivi.

Le varie Unità Operative hanno proseguito nello studio e progettazione degli apparati proposti ed in alcuni casi hanno completato la realizzazione di modelli o del prototipo definitivo.

Criogeneratori.

L'obiettivo è la realizzazione di due criogeneratori (uno con ciclo Gifford e terzo stadio Joule-Thomson operante a 4.5 K, l'altro con ciclo Stirling a piccolo volume, bassa potenza e basso rumore operante ad 80 K) e l'ottimizzazione termodinamica dello scambio termico tra fluido e rigeneratore del criogeneratore Gifford.

Al riguardo:

- è stato realizzato un prototipo del primo stadio del