

LNF-88/05

F. Celani, R. Messi, N. Sparvieri, S. Pace

METODO DI PREPARAZIONE DI SUPERCONDUTTORI CERAMICI AD ALTA
TEMPERATURA CRITICA CARATTERIZZATI DA BUONE PROPRIETA'
DIAMAGNETICHE

Estratto da: Nuovo Sagg. 4, n. 1 7-11 (1988)

FRANCESCO CELANI, ROBERTO MESSI, SANDRO PACE
E NICOLA SPARVIERI

**Metodo di preparazione di superconduttori
ceramici ad alta temperatura critica
caratterizzati da buone proprietà diamagnetiche**

Il Nuovo Saggiatore - Vol. 4, n. 1 - pp. 7-11, 1988

ATTUALITÀ

METODO DI PREPARAZIONE DI SUPERCONDUTTORI CERAMICI AD ALTA TEMPERATURA CRITICA CARATTERIZZATI DA BUONE PROPRIETÀ DIAMAGNETICHE

Introduzione

Dopo la scoperta di K. A. Müller e J. G. Bednorz, pubblicata negli ultimi mesi del 1986, di proprietà superconduttive in alcuni ossidi a base di rame, lantanidi e metalli alcalino-terrosi⁽¹⁾, a temperature di gran lunga maggiori di quelle fino ad allora note (cioè 23 K del Nb₃Ge), in tutto il mondo si è avuta una esplosione d'interesse sia scientifico che economico verso la superconduttività. In breve tempo un numero elevatissimo di ricercatori ha sintetizzato un gran numero di «composti» in una corsa affannosa verso temperature di transizione T_c sempre più alte. Nei primi mesi del 1987, pressoché contemporaneamente, vari ricercatori^(2,3) hanno raggiunto e superato l'importante traguardo tecnico della temperatura dell'azoto liquido (77 K) con un composto a base di Y, Ba, Cu, O che mostrava una T_c di circa 90 K. Nei mesi successivi, in moltissimi laboratori, in tale composto multifasico, è stata identificata la fase superconduttiva nella composizione stechiometrica Y_{1-x}Ba_{2-x}Cu₃O_{7-δ} (con $\delta < 0.5$). Sono stati utilizzati vari processi di fabbricazione basati generalmente sulla reazione a stato solido ad alte temperature (~950°C) di ossidi e carbonati di Y, Ba, Cu sotto forma di polveri fini ed ottenendo come prodotto finale «pasticche» di superconduttore tramite usuali metodi di sinterizzazione.

Fin dall'inizio è apparso abbastanza chiaro che risultava piuttosto semplice ottenere campioni in cui la «caduta» della resistenza dallo stato normale a quello di conducibilità infinita avvenisse in un intervallo di temperatura di pochi gradi. Al contrario, la quasi totalità dei campioni sinterizzati mostrava sia proprietà diamagnetiche ben lontane da quelle di perfetto diamagnetismo dei superconduttori «classici», sia una larghezza di transizione diamagnetica (valutata dall'intervallo di temperatura in cui avvengono le variazioni delle proprietà magnetiche) di varie decine di gradi. Inoltre, mentre nei superconduttori classici, in campioni semplicemente connessi, non esiste alcuna differenza di comportamento raffreddando il campione al di sotto della T_c in presenza di campo magnetico, o in sua assenza con l'applicazione successiva del campo, al contrario, nei nuovi superconduttori appaiono

grandi differenze del comportamento diamagnetico a seconda delle condizioni di campo esistenti durante il raffreddamento. Pur non volendo entrare nei dettagli e sorvolando sull'enorme rilevanza svolta dalla percentuale di ossigeno e quindi dai fenomeni che avvengono nel processo di ricottura, tali anomalie di comportamento possono per lo più essere ricondotte alla struttura granulare dei sinterizzati che determina un cattivo accoppiamento superconduttivo tra i grani stessi. Sono inoltre molto importanti in tali composti sia le forti proprietà di anisotropia spaziale che i valori estremamente piccoli della lunghezza di coerenza.

L'insieme di tali problemi fa sì che molte delle proprietà di trasporto osservate dipendano più dal particolare stato di aggregazione del sinterizzato che dalle proprietà intrinseche del materiale.

L'analisi più dettagliata delle proprietà diamagnetiche ha così dimostrato che, raffreddando il campione sotto T_c in assenza di campo magnetico, il perfetto diamagnetismo esiste solo per campi estremamente bassi (pochi gauss). Il valore osservato del campo critico inferiore H_{c1} , al di sopra del quale inizia a manifestarsi una parziale penetrazione del campo, viene determinato non da proprietà intrinseche ma dal valore massimo della corrente superconduttiva tra le varie parti del campione: tale corrente di «accoppiamento» limita le correnti macroscopiche che schermano i campi.

La misura di una «buona» transizione resistiva non è di per sé sufficiente a caratterizzare e garantire un buon campione superconduttore poiché nei sistemi tridimensionali è sufficiente una quantità di materiale superconduttore ben al di sotto del 50% per permettere l'esistenza di cammini percolativi che mostrino perfetta conducibilità e che cortocircuitano il resto del campione.

La semplicità di preparazione di campioni apparentemente buoni ha fatto sì che molte delle innumerevoli misure finora riportate in letteratura siano poco significative specialmente se coinvolgono solamente gli strati superficiali dei campioni. Inoltre, anche le applicazioni della maggior parte dei sinterizzati finora realizzati non avrà probabilmente grande sviluppo poiché i problemi di contatto tra diverse zone superconduttive determinano, ad esempio, densità di correnti critiche di molto inferiori di quelle riscontrate negli usuali cavi superconduttori multifilamentari «classici». Molti dei problemi toccati potrebbero essere risolti in un futuro più o meno prossimo da campioni monocristallini o da film

«monocristallini». In ogni caso, le difficoltà non trascurabili presenti in queste direzioni rendono ancora estremamente importante la messa a punto di metodi di preparazione di sinterizzati «realmente buoni».

Pur affinando i processi di sintesi e sinterizzazione, finora nella maggior parte dei casi i valori della suscettività magnetica, misurata in bassa frequenza ($\nu \leq 100$ Hz), a 77 K assume valori dell'ordine del 5% rispetto alla suscettività del piombo nello stato superconduttore (4.2 K) e del 40% alla temperatura dell'elio liquido (4.2 K).

Un metodo, finora poco diffuso, ma che dà risultati competitivi con i migliori pubblicati in letteratura, è quello sviluppato basandosi sulla sintesi di citrati in combinazione con la pirolisi⁽⁴⁾ e per primo riutilizzato da S. Flokstra⁽⁵⁾ per la preparazione di tali nuovi materiali. Tale metodo, descritto in questo lavoro, anche se presenta alcune difficoltà operative e criticità maggiori degli altri più diffusi succitati, permette tuttavia di ottenere un comportamento diamagnetico migliore di quelli usualmente osservati.

Cenni sui metodi convenzionali

Il più diffuso processo di fabbricazione dei superconduttori bulk segue le tracce di una tecnologia ceramica ormai ben stabilita. Essa può essere riassunta nei seguenti passi:

- pesata delle materie prime precedentemente essiccate,
- macinazione,
- reazione a stato solido delle polveri tra ~900°C e ~1050°C (calcinazione),
- frantumazione ed ulteriore macinazione,
- pressatura,
- sinterizzazione in atmosfera controllata.

Le materie prime sono quasi sempre ossidi allo stato di valenza nel quale compariranno nell'ossido complesso finale; in modo alternativo vengono anche impiegati dei nitrati o dei carbonati. Per il bario viene generalmente scelto quest'ultimo sale poiché è abbastanza stabile e nella reazione di calcinazione è sufficiente una temperatura di circa 950°C. Al contrario, l'uso dell'ossido di bario renderebbe necessaria una temperatura di circa 100°C superiore, con conseguente aggravio di problemi sia tecnologici (legati al tipo di forno da utilizzare)⁽⁶⁾ sia generati da possibili comparse di fasi liquide che determina-

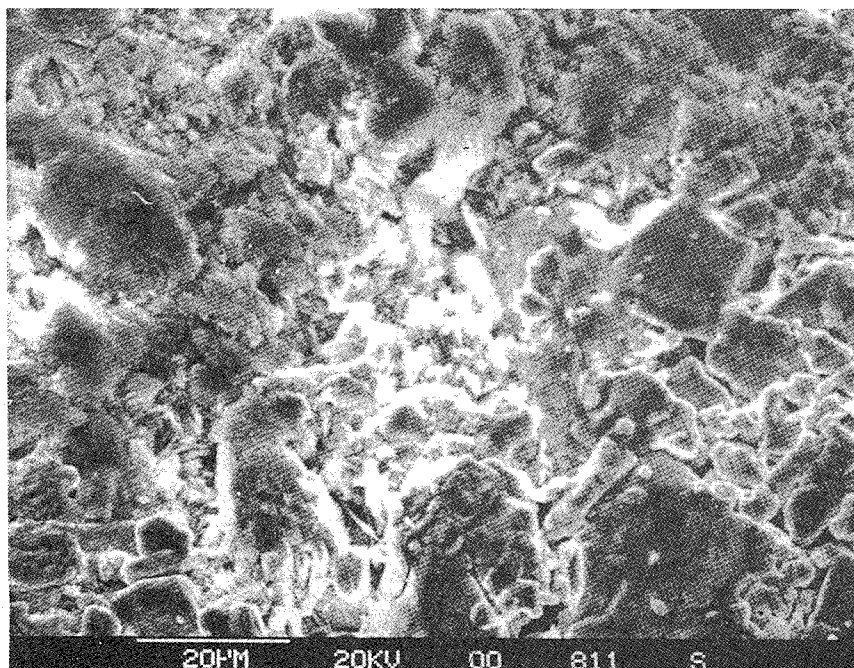


Fig. 1. – Foto al microscopio elettronico di un buon campione commerciale (ditte OGAWA, SEIKI, Giappone).

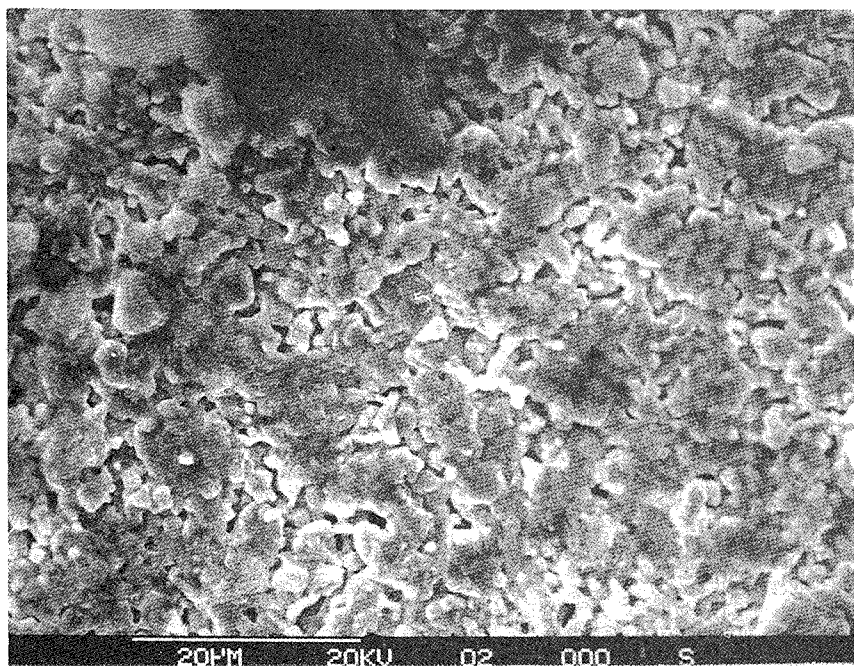


Fig. 2. – Foto al microscopio elettronico di un campione realizzato secondo il metodo descritto in questo articolo.

no un'errata stechiometria del materiale.

Le materie prime vengono pesate secondo la stechiometria finale del materiale che si vuole ottenere e quindi mescolate per diverse ore. La polvere così ottenuta viene calcinata in crogiuoli tipicamente di allumina (Al_2O_3) a temperature di circa 900°C per circa dieci ore. In questa fase gran parte del materiale si trasforma in $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, con la contemporanea presenza di composti spuri quali Y_2BaCuO_5 , BaCuO_2 , $\text{Y}_2\text{Cu}_2\text{O}_5$.

I grani ottenuti raggiungono dimensioni assai maggiori (da 2 a $10\ \mu\text{m}$) di

quelli delle polveri originarie ($\leq 1\ \mu\text{m}$). Per favorire il processo di compattazione e densificazione è quindi necessario un secondo ciclo di frantumazione. Viene perciò eseguita di nuovo una macinazione e setacciatura e a questo punto la polvere è pronta per la pressatura che può essere idraulica, isostatica o monostatica a seconda del tipo di prodotto finale che si vuole ottenere. In ogni caso la pressione esercitata è maggiore di $1\ \text{ton}/\text{cm}^2$. La sinterizzazione viene eseguita in forno sotto flusso di ossigeno con cicli di salita da 25 a $50^\circ\text{C}/\text{h}$ con tempe-

ratura di sinterizzazione intorno ai 950°C per 10 h e discesa libera a forno chiuso.

Diversi autori hanno sottolineato l'importanza decisiva di un raffreddamento lento, analisi termogravimetriche hanno infatti mostrato che durante tale processo la quantità di ossigeno in una prima fase aumenta mentre poi diminuisce. In connessione con tali fenomeni si ha sia una transizione strutturale (tetraedrica \rightarrow ortorombica) che variazioni del numero delle lacune esistenti. L'occupazione o la mancata occupazione di particolari siti da parte dell'ossigeno svolge un ruolo determinante per le proprietà superconduttive.

Altri processi di fabbricazione (sol-gel, metallo-organici, perossidi), anche se danno generalmente risultati superiori al metodo succitato, sono poco diffusi a causa di varie complessità o criticità tecnologiche.

Un problema comune a molti metodi realizzativi è il valore elevato ($> 2\ \mu\text{m}$) della granulometria delle polveri utilizzabili per la sinterizzazione. Tali valori provocano due inconvenienti:

1) il limite massimo alla densità del materiale, così che il materiale si presenta poroso ad un'analisi microscopica;

2) un probabile limitato scambio di ossigeno nella fase di sinterizzazione determinato da un basso rapporto superficie-volume.

Metodo della pirolisi di citrati

Come metodo alternativo abbiamo preparato campioni di $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ utilizzando la tecnica della sintesi di citrati con pirolisi.

I materiali di partenza, sotto la forma di CuO , Y_2O_3 , BaCO_3 , sono solubilizzati in acido nitrico concentrato, successivamente viene aggiunto acido citrico e il tutto viene neutralizzato con ammoniaca. Sottoponendo a processo di pirolisi ($\sim 200^\circ\text{C}$) il liquido neutralizzato viene ottenuta una polvere ultrafine ed omogenea ($50 \div 60\ \text{nm}$) di $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$.

Il maggior vantaggio di tale metodo è che si ottiene una granulometria delle polveri da 20 a 100 volte inferiore a quella ottenuta con metodi convenzionali. Tale valore consente da un lato una maggiore densificazione del sinterizzato e dall'altro un'elevata reattività all'ossigeno immesso nel crogiuolo.

Comunque, facciamo notare che con qualsiasi metodo di preparazione è possibile aumentare la densità e migliorare le proprietà meccaniche compressive aumentando le temperature di sinterizzazione, ma tale processo porta purtroppo ad una parziale decomposizione dell' $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ con il conseguente peggioramento delle proprietà superconduttive.

In fig. 1 è riportata la foto, ottenuta con il microscopio elettronico a scansione, di un buon superconduttore prodotto e commercializzato da un'industria

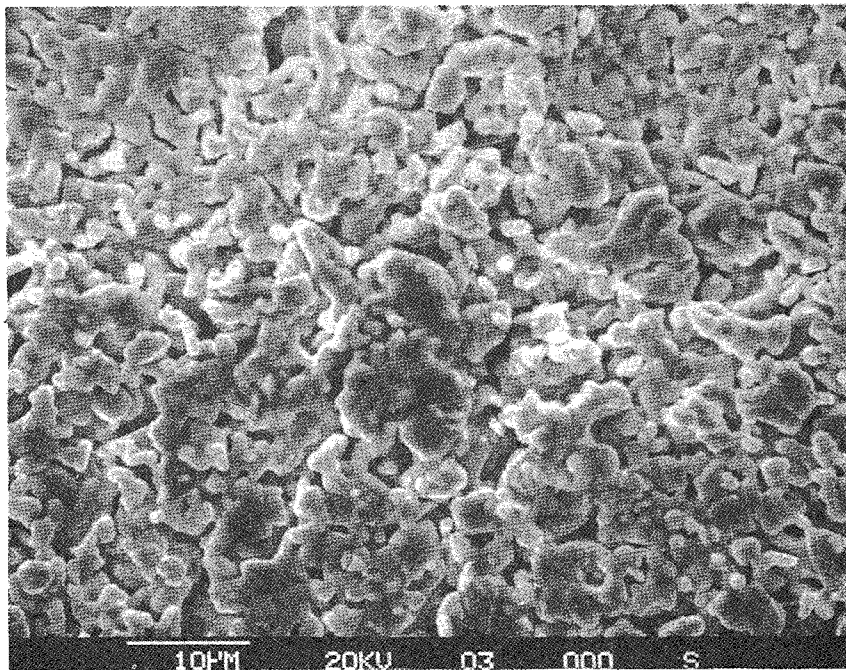


Fig. 3. - Foto al microscopio elettronico di un campione realizzato con il metodo da noi in corso di brevettazione.

Tabella I.

	Purezza	Peso (g)	HNO ₃ (ml)	Q ₂ -H ₂ O (ml)
Y ₂ O ₃	99.99	15.13	53.60	—
BaCO ₃	99.9	52.89	80.40	107
CuO	99.9	31.97	53.60	—
HNO ₃ (65%)	RPE			
NH ₃ (25%)	RPE	200 ÷ 300		
Acido citrico	RPE	168.85		

	Fase di preparazione
Acqua deionizzata per lavaggi	20 l tutte
Flusso di ossigeno (l/h)	100 l N.T.P. e)
n. 2 beaker, vetro DURAN	250 ml b1)
n. 1 beaker, vetro DURAN	500 ml b2)
n. 2 beaker, vetro DURAN	2 l d1)
n. 1 beaker, vetro DURAN	5 l c1)
n. 1 contenitore di vetro a chiusura ermetica	3 l d5)
n. 2 fornelli elettrici da 600 W	d2) ÷ d4)
n. 3 maschere antigas con filtro antipolvere	a), d4), e), f)
n. 3 maschere antigas con filtro antiacido	b1), b2), c1) ÷ c3), d1) ÷ d4)
n. 3 paia di guanti antiacido	tutte
n. 3 occhiali antischizzo acidi	b1), b2), c1) ÷ c3), d1), d2)
n. 3 copricapo in nylon	tutte

È opportuno comunque usare anche vestiario antipolvere e antiacido (ad esempio tute monouso).

giapponese (OGAWA, SEIKI). Nella fig. 2 è riportata la foto del campione prodotto col metodo della pirolisi di citrati. La fig. 3 è relativa ad un metodo, in corso di brevetto, da noi sviluppato modificando opportunamente il metodo pirolitico (vedi oltre).

Le foto mostrano chiaramente i vantaggi del metodo su descritto.

Procedura sperimentale per la pirolisi di citrati

Al fine di agevolare il lettore nella riproduzione del processo, descriviamo i dettagli operativi da noi utilizzati per la

preparazione di circa 100 g di prodotto finale (a meno del carbonio), mentre i materiali di partenza e «accessori» necessari alla fabbricazione sono descritti in tabella I:

a) Pesare accuratamente i singoli componenti come da tabella I. I materiali devono essere stati preventivamente essiccati poiché sono igroscopici (ad esempio posti in essiccatore per 5 ore a 50°C).

b1) Solubilizzare separatamente in un beaker l'Y₂O₃ e il CuO con le quantità di acido nitrico come da tabella.

b2) Solubilizzare il BaCO₃ nella soluzione di 107ml di Q₂-H₂O e 80.40 ml di

HNO₃ eventualmente riscaldata a (80 ÷ 90)°C per agevolare il processo.

In tutti e tre i suddetti processi bisogna porre grande cura nell'evitare la formazione di grumi che, se presenti, pregiudicano il risultato finale. Per mescolare le polveri nel liquido è utile usare bacchette di vetro.

c1) Versare contemporaneamente le tre soluzioni in un beaker mescolando continuamente.

c2) Aggiungere la quantità di acido citrico come da tabella.

c3) Neutralizzare con NH₄-OH al 25%. Il liquido da celeste deve diventare blu scuro (rispettivamente zona inferiore e superiore di fig. 4). Controllare continuamente il valore del pH con cartina al tornasole e arrestare l'aggiunta di ammoniaca quando il pH raggiunge un valore intorno a 7. Il pH ottimale è di 6.8. Questa fase della preparazione è piuttosto critica poiché se si supera il pH di 7 la reazione è inefficiente.

d1) Prendere soltanto 100 ml del liquido ottenuto e versarlo in un altro beaker da 2 litri precedentemente collaudato a +300°C.

d2) Porre il beaker su un fornello elettrico da 600 W a temperatura ambiente.

d3) Riscaldare finché da un solo punto del liquido inizia la combustione spontanea (pirolisi).

d4) Spegner il fornello appena inizia la reazione.

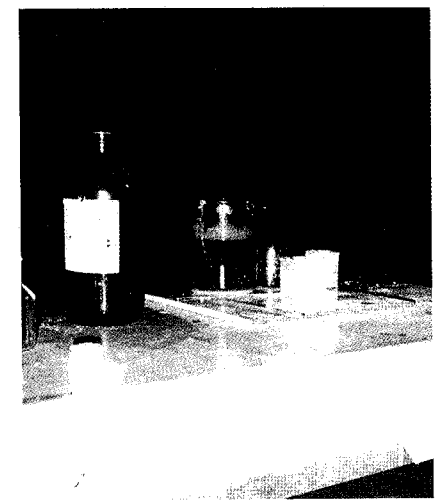


Fig. 4. - Neutralizzazione con ammoniaca della soluzione acida nelle fasi intermedie: si nota la separazione del prodotto con diverso pH cui corrisponde un diverso colore (blu, celeste).

Il processo di pirolisi, in tutti i suoi particolari, è mostrato nelle fig. 5-13 fino al prodotto finale che è una polvere impalpabile con granulometria di 50 nm (fig. 14). Alcune foto (fig. 6, 10, 12) sono state effettuate in assenza di luce esterna per evidenziare la combustione pirolitica.

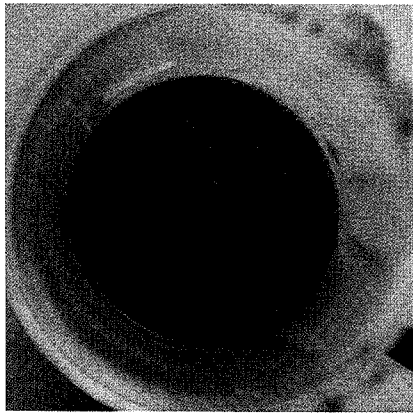


Fig. 5.

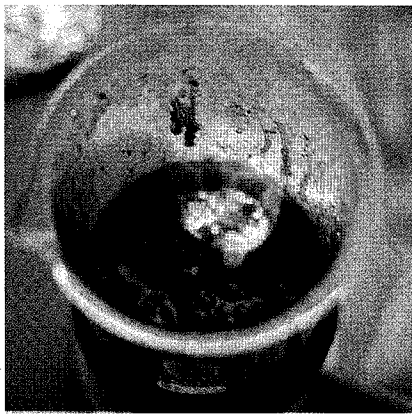


Fig. 9.

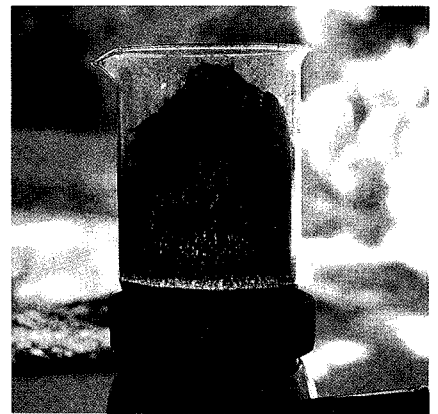


Fig. 13.

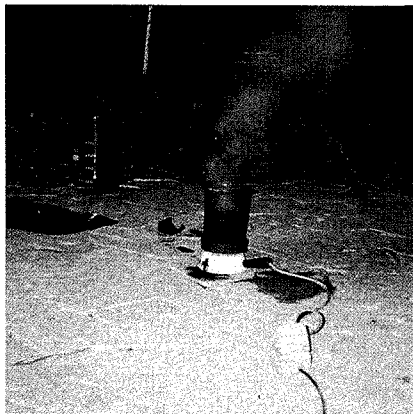


Fig. 6.

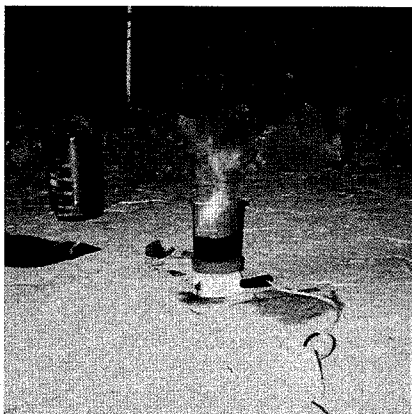


Fig. 10.

Fig. 5-13. - Fasi successive del processo di pirolisi. Le foto 6, 10, 12 sono state eseguite in condizioni di carenza di luce esterna per evidenziare la combustione pirolitica.

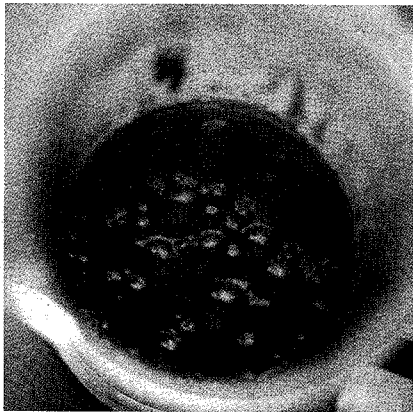


Fig. 7

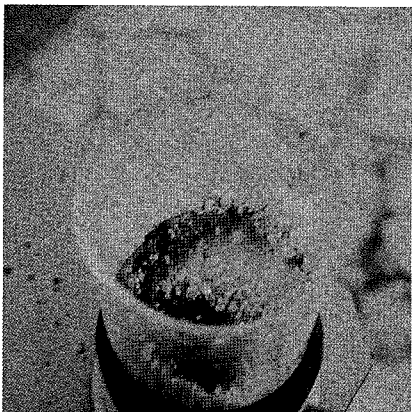


Fig. 11.

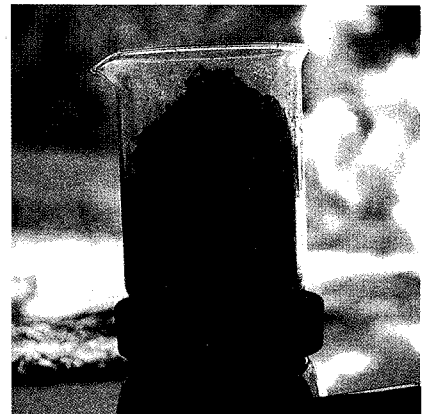


Fig. 14. - Aspetto finale di circa 10 g di polveri di Y, Ba, Cu, O_x in un beaker di 1 l alla fine del processo di pirolisi.

10



Fig. 8.

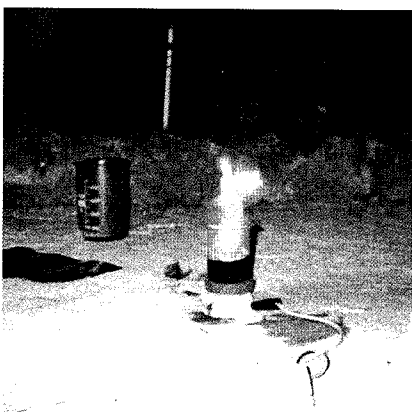


Fig. 12.

d5) La polvere dopo circa 15 min dal termine della reazione va raccolta e messa in un contenitore a chiusura ermetica di vetro.

Si ripete il procedimento di pirolisi d1)-d4) fino alla fine del liquido utilizzando sempre beaker puliti.

Sia il problema della tossicità del bario, peraltro comune a tutti i metodi di preparazione dell'YBCO (dose letale 1 g; tossicità cronica dovuta ad assimilazione prolungata di basse dosi, malattia professionale denominata barite), sia i particolari problemi legati al presente metodo quali l'uso di acidi concentrati, la possibile formazione di nitrato di ammonio e la granulometria particolarmente bassa della polvere finale rendono ovviamente necessario l'uso di materiali ed indumenti protettivi specifici (vedi tabella I).

e) La polvere ottenuta viene omogeneamente sparsa in un crogiuolo di allumina di buona qualità (non porosa) per essere sottoposta, in un forno a flusso di ossigeno (tipicamente 100 l/h) al seguente ciclo termico:

- 30°C → 960°C in due ore,
- 960°C costanti per 10 ore,
- 960°C → 30°C in 18 ore.

Nel caso di un forno con tempo di warm-up maggiore di due ore alcuni autori suggeriscono che il tempo di discesa debba soddisfare la seguente condizione:

$$t(\text{ore}) = 18 + 2 [(\text{warm-up}) - 2].$$

È sufficiente fare il trattamento di ossigeno, a pressione ambiente, nel tratto termico 300 → 960 → 300°C.

Mettiamo in risalto che il prodotto è superconduttore dopo il primo trattamento e quindi è già utilizzabile per alcune applicazioni.

f) Volendo si può frantumare, comprimere e ricuocere nuovamente per ottenere un prodotto di aspetto ceramico. Il profilo termico da utilizzare è lo stesso di quello precedentemente descritto.

Le misure di temperatura di transizione dei nostri campioni, effettuate tramite dipendenza della resistività misurata col metodo dei quattro contatti dalla temperatura, danno risultati simili alle tante misure già pubblicate. I campioni presentano un andamento «apparentemente metallico» con una decrescita monotona della resistenza che mostra un rapporto tra la resistenza a temperatura ambiente ed il suo valore a 100 K che varia intorno a 2 a seconda del particolare campione. Il crollo della resistività si ha intorno a 93 K con una larghezza di transizione minore di 2 K.

Le misure di suscettività magnetica sono state effettuate raffreddando il campione in assenza di campo magnetico ed eseguendo il rapporto tra le variazioni d'induttanza tra lo stato normale e quello superconduttore di una bobina contenente un nostro campione sinterizzato con le analoghe variazioni misurate

Fig. 15. – Levitazione magnetica di un magnete da 1000 G su una pasticca di sinterizzato di dimensioni 19×6 mm.



nell'identica configurazione geometrica utilizzando un campione di piombo. Tale rapporto è pari al 10% a 77 K ed al 70% a 4.2 K. Le misure sono state effettuate eccitando la bobina con un campo magnetico con ampiezza massima maggiore di 5 G.

In fig. 15 è mostrato l'ormai «classico» effetto di levitazione magnetica generato da un nostro campione superconduttore (diametro 19 mm, spessore 6 mm) su un magnete permanente che genera un campo di circa 1000 G.

Gli autori desiderano notificare che, partendo dal metodo descritto, con opportune modifiche, è stato sviluppato un innovativo processo di fabbricazione che ha permesso di ottenere un valore di suscettività magnetica maggiore del 93% a $T=77$ K e del 100% alla temperatura dell'elio liquido per campi magnetici molto superiori a quelli in cui tali proprietà vengono usualmente osservate. Tale metodo è in corso di brevettazione e verrà da noi pubblicato entro breve tempo.

Su tali campioni sono attualmente in corso misure più dettagliate di suscettività e di curve di magnetizzazione.

Ringraziamenti

Si desidera ringraziare il dr. A. Sagge e la dr.ssa G. Modestino dell'INFN-LNF per un valido contributo nella fase di caratterizzazione fisica del materiale e i sig. P. Cattarin e M. Paoletta della Selenia per l'accuratezza nella preparazione delle polveri e trattamenti termici finali. Un particolare ringraziamento è dovuto al sig. A. Pecchi (INFN-LNF), meccanico del nostro gruppo di ricerca, per la disponibilità umana e creatività tecnica nella fase di preparazione e messa a punto di tale metodo.

Francesco Celani
Laboratori Nazionali di Frascati
Roberto Messi
Dipartimento di Fisica
Università «Tor Vergata» di Roma
Sandro Pace
Dipartimento di Fisica
Università di Salerno
Nicola Sparvieri
Selenia S.p.A. Direzione Ricerche, Roma

Bibliografia

- (1) J. G. BEDNORZ and K. A. MÜLLER: *Z. Phys. B*, **64**, 189 (1986).
- (2) C. W. CHU *et al.*: *Phys. Rev. Lett.*, **58**, 405 (1987).
- (3) R. J. CAVA, B. BATLOGG *et al.*: *Phys. Rev. Lett.*, **58**, 1676 (1987).
- (4) MAGG VAN DE GRAAF *et al.*: *Sc. Ceram.*, **9**, 75 (1977).

- (5) J. FLOKSTRA *et al.*: *European Workshop on High T_c Superconductors and Potential Applications*, Genova 1-3 luglio 1987, P78 (1987).

BACKGROUND INFORMATION ON LEP, CERN'S LARGE ELECTRON-POSITRON COLLIDER

After its completion in 1989, LEP (the Large Electron-Positron Collider) will be the world's most powerful electron-positron colliding beam machine and will give European particle physicists facilities for performing experiments at energies of some 200 GeV until well into the Twenty-First Century. These experiments will result in an even deeper knowledge of the structure of matter and the fundamental laws governing the universe.

Progress of the project

On a proposal from the European high-energy physics community, the CERN Council, on which the governments of all 14 Member States are represented, unanimously decided, on 3 October 1981, to implement the LEP project.

Work on building the tunnel and chambers started in the summer of 1983. With its circumference of almost 27 km, the machine will have the largest circular tunnel for particle acceleration in the world. The inside diameter of the tunnel itself, lying at a depth of between 50 and 170 m beneath the surface, is 3.8 m. It passes under both French and Swiss territory. Access shafts connect the tunnel to surface buildings at eight points, while four underground experimental halls have been excavated to house the large detectors.

The junction of the tunnel on 8th February 1988 finished the excavation work beneath the Jura between Chevry and Echenevex. Work on lining the tunnel with concrete is progressing well and LEP's four large experimental areas are completed. The installation of the experiments started in the middle of 1987. The linear injector (LIL) and the electron-positron accumulator (EPA) have been successfully tested, while the proton synchrotron (PS), which has already accelerated a huge variety of particles since the very beginnings of CERN, has also meanwhile been set up for the pre-acceleration of electrons and positrons. Since preparations are running on schedule, it is virtually certain that physics experiments in the 2 × 60 GeV energy range will start in mid 1989.

Thereafter and until 1994, LEP will be extended to the design energy of 2 × 100 GeV. In order to reach these energies at the lowest possible power consumption, CERN, together with research and industrial laboratories in the

Member States, has been developing superconducting cavities over the past few years.

The machine and the LEP experiments

The LEP machine consists of a water-cooled, lead-shielded vacuum tube surrounded by magnets. Electrons travelling clockwise and positrons circulating anticlockwise will be kept on track by the magnets inside this same vacuum chamber.

The ring is not actually a perfect circle but consists of eight curved sectors 2800 m long interlinked by eight 500 m straight sections. The particles are guided in the curved sectors by 3400 bending magnets, while 760 quadrupole and 512 sextupole magnets bunch the beams. The particles are accelerated each time they pass through the straight sections, at either end of the experimental halls. Their collisions are observed by four large detectors installed in the experimental halls at Points 2, 4, 6 and 8.

Point 2: Experiment L3; leader: S.C.C. Ting; some 350 scientists from 35 universities and research institutes.

Point 4: ALEPH experiment; leader J. Steinberger; some 300 scientists from 28 universities and research institutes.

Point 6: OPAL experiment; leader A. Michelini; some 280 scientist from 22 universities and research institutes.

Point 8: DELPHI experiment; leader U. Amaldi; some 350 scientists from 39 universities and research institutes.

The composition of these groups demonstrates the worldwide interest in the LEP experiments: almost half the 23 countries taking part are not Member States of CERN. The total cost of the experiments, 480 million Swiss francs, is being shared equally between CERN, the Member States and the non-Member States.

Financing LEP

The capital outlays on LEP amount to about 1180 Swiss francs at current (1987) prices. This is about the same amount as was spent on its immediate

predecessor, the Super Proton Synchrotron (SPS), although the latter has a circumference of only 7 km, is not as far below the surface and has only six access shafts (as against LEP's 18). While such cost-effectiveness has been attained primarily through the use of new technologies, further important factors have been the re-use of existing components from some CERN installations which have been shut down and the use of the existing storage rings as pre-accelerators for LEP.

The way in which LEP is being financed is also unique. Whereas research establishments have otherwise been granted special resources for the completion of projects of this size, CERN is financing LEP out of its ordinary operating budget. One of the conditions for the approval of LEP in 1981 was, in fact, that the project had to be completed at a constant budget, i.e. without extra funds or staff. This has been possible only by shutting down older installations and pruning the CERN research programme. Large numbers of scientists have turned to fresh fields of research while about 1000 CERN employees have had to take on changed and sometimes completely new tasks. This flexibility on the part of the staff has been seen everywhere as a sign of the continuing vitality of this European research institute.

New paths have been trodden, too, in financing the LEP experiments. As has already been said, the research institutes are making a much greater contribution than before to the capital outlays. Many of these contributions are being made not in the form of cash but by the supply of components for the experiments. Once again this means that CERN has undertaken the work of coordination and careful scheduling to ensure that the individual components from all over the world are built to specification, arrive in Geneva at the right time and fit smoothly into the highly complicated whole represented by an experiment.

The future of CERN

Various options have been scheduled for the future with an eye to making the most cost-effective use of the high cap-

ital investment, especially in the construction of the tunnel and the ancillary facilities. Thus the LEP tunnel was designed from the start to provide enough room above the LEP magnets to install superconducting magnets for a large proton collider. With only minor modifications, the existing CERN accelerators, which have given ample proof of their reliability and extreme efficiency over decades of operation, could be used as superb pre-accelerators for such a machine. Many other components of CERN's existing facilities could also be employed.

Such a proton collider could operate in an energy range of almost 10 TeV, some ten times greater than the highest energies so far available anywhere in the world. The scientific and technical aspects of this facility were examined during an ECFA*-CERN workshop in 1984. It was investigated in detail by the Long-Range Planning Committee chaired by Professor C. Rubbia and set up by the CERN Council in June 1985 to look into various options for the long-term future of CERN: «Report of the Long-Range Planning Committee to the CERN Council (CERN/1658/final version - 27 August 1987)».

CERN Presse

* European Committee for Future Accelerators.

RINNOVO CARICHE DIRETTIVE DEL COASSI

Si sono svolte il 1° dicembre 1987 le elezioni per il rinnovo della carica di Presidente e di Segretario del COASSI per il triennio 1988-90.

Il nuovo Presidente del COASSI è il prof. Sergio Focardi e alla carica di Segretario è stato eletto il prof. Giorgio Adembri, rappresentante della Società Chimica Italiana e professore all'Università di Siena.

Nel prendere atto di questa elezione il Consiglio di Presidenza della Società Italiana di Fisica ha espresso il suo vivo compiacimento.

EPAC
EUROPEAN PARTICLE
ACCELERATOR CONFERENCE
Rome, 7-11 June 1988

Requests for general information on the Conference should be addressed to:
S. Tazzari (Chairman)
Local Organizing Committee EPAC 88
INFN-LNF Frascati
P.O. Box 13
00044 Frascati (Rome)
TLX. 614122
Telefax 06/9403427-9403256