



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI TRENTO

**Gara d'appalto per la fornitura di una
Piattaforma avanzata per analisi microstrutturali, cristallografiche e
chimiche di materiali su scala sub-nanometrica con tecniche di
microscopia elettronica a scansione in trasmissione e spettroscopia X a
dispersione di energia
CIG 73409095BE**

DISCIPLINARE TECNICO



DEFINIZIONI

| | |
|---|--|
| Aggiudicatario | Il Concorrente primo classificato nella graduatoria di valutazione delle Offerte ratificata da UniTrento. |
| Appaltatore | Il soggetto vincitore della Gara, con il quale UniTrento firmerà il Contratto. |
| Apparecchiatura | Piattaforma avanzata per analisi microstrutturali, cristallografiche e chimiche di materiali su scala subnanometriche con tecniche di microscopia elettronica a scansione in trasmissione e spettroscopia X a dispersione di energia. |
| AVCPass | Banca dati nazionale istituita presso l'A.N.A.C. per la verifica del possesso dei requisiti generali e speciali per la partecipazione alla Gara. |
| Capitolato Speciale | Il documento contenente le condizioni generali del Contratto che sarà stipulato fra UniTrento e l'Aggiudicatario. |
| Concorrente | Ciascuno dei soggetti, siano essi in forma singola che raggruppata, raggruppanda che presenteranno Offerta per la Gara. |
| Contratto | Il contratto di appalto che sarà stipulato fra UniTrento e l'Aggiudicatario. |
| Disciplinare Tecnico | Il presente documento che definisce le caratteristiche tecniche della Fornitura. |
| Direttore dell'esecuzione del Contratto | La persona fisica, all'uopo indicata da UniTrento, con il compito di rappresentarla nella gestione del rapporto contrattuale con l'Appaltatore. |
| Documenti di Gara | I seguenti documenti: Bando di Gara, Norme di Gara, Capitolato Speciale, Disciplinare Tecnico e loro allegati, che nel loro insieme forniscono ai Concorrenti i criteri di ammissione alla Gara, le informazioni necessarie alla preparazione e presentazione dell'Offerta, i criteri di valutazione delle offerte e di scelta dell'Aggiudicatario. Detti documenti sono parte integrante del rapporto contrattuale. |
| Fornitura | L'oggetto dell'appalto. |
| Norme di Gara | Il documento che fornisce ai Concorrenti le informazioni necessarie alla preparazione e presentazione dell'Offerta, nonché i criteri di valutazione e di aggiudicazione. |
| Mandatario | Per i Concorrenti raggruppati o raggruppandi, il componente che assume il ruolo di capofila del gruppo costituito o costituendo. |
| Offerta | L'offerta tecnica ed economica che ciascun Concorrente deve presentare per partecipare alla Gara. |
| Rappresentante del Concorrente | Colui che la legge o la volontà delle parti indica come rappresentante del Concorrente nel corso della Gara. |



Disciplinare Tecnico

| | |
|---------------------------------------|--|
| Responsabile dell'Appaltatore | La persona fisica indicata dall'Appaltatore per la gestione del Contratto con funzioni di coordinamento e di garanzia al buon funzionamento della Fornitura. |
| Responsabile del procedimento di gara | Dott. Alex Pellacani; pec: ateneo@pec.unitn.it. |
| UniTrento | L'Università degli Studi di Trento. |



PREMESSA

In anni recenti, i settori della scienza e della ingegneria dei materiali, della fisica dello stato solido, della biologia molecolare hanno visto lo sviluppo, la sintesi, la scoperta di sistemi nanostrutturati. Questi sistemi hanno dato impulso anche a produzioni industriali del tutto innovative nel campo della microelettronica, dei materiali biomedici e dei biomateriali, nelle applicazioni energetiche, solo per citare alcuni dei campi nei quali le nanostrutture stanno avendo un impiego massiccio. Parallelamente e coerentemente allo sviluppo di tali sistemi nanostrutturati, sono stati sviluppati strumenti di indagine per la caratterizzazione di materiali sino a dimensioni nanometriche.

In questo contesto, la microscopia elettronica analitica sta avendo un ruolo fondamentale sia con gli strumenti di microscopia elettronica a scansione (SEM) sia con i microscopi elettronici a scansione in trasmissione (STEM). Questi ultimi sono particolarmente interessanti, giacché consentono di raggiungere risoluzioni di immagine di qualche decimo di nanometro senza dover ricorrere a espansioni polari della lente obiettivo tipiche della microscopia ad alta risoluzione HREM, caratterizzate da spazi estremamente limitati per la movimentazione e l'inclinazione del campione all'interno della lente stessa. Nella strumentazione HRTEM, tali limitazioni impediscono di conseguenza il posizionamento dei campioni con l'escursione di movimenti necessaria per una completa caratterizzazione, cosa che risulta invece possibile con gli apparecchi STEM.

Il Dipartimento di Ingegneria Industriale si fa promotore della realizzazione di una piattaforma di strumentazioni per la microscopia elettronica, che sviluppi e integri in maniera virtuosa ed efficace la strumentazione e le metodologie di analisi già disponibili, al fine di rispondere adeguatamente alle sempre nuove richieste analitiche legate allo sviluppo dei materiali, con particolare riferimento a quelli nanostrutturati, funzionali e biotecnologici. In questa ottica l'Università degli Studi di Trento intende acquistare uno STEM con caratteristiche tali da far fronte alle specifiche richieste dei propri ricercatori e che consentano loro di competere adeguatamente nei contesti scientifici internazionali di riferimento.

Con il supporto di tale strumentazione, verranno sviluppate metodologie esperte originali per la caratterizzazione integrata dei dati sperimentali (immagini - spettri EDXS - spettri di diffrazione). Un tale approccio, che si connota per la sua assoluta novità, doterà la piattaforma di microscopia elettronica di un esclusivo quanto efficace strumento di indagine, che supporterà le diverse attività scientifiche interessanti per UniTrento.



Disciplinare Tecnico

Il presente documento descrive i requisiti minimi essenziali che dovrà presentare la strumentazione, costituita da un microscopio elettronico a scansione in trasmissione STEM nuovo con videocamera ad alta risoluzione e sistema per la spettroscopia X a dispersione di energia (EDXS).

Il mancato rispetto anche di uno solo di tali requisiti minimi comporterà esclusione dalla gara.



Caratteristiche generali

La strumentazione che si intende acquisire dovrebbe essere caratterizzata da una particolare versatilità e facilità di impiego, aspetto essenziale per andare incontro alle diverse esigenze di ricerca del Dipartimento. A tal riguardo le caratteristiche e specifiche tecniche di cui sopra descritte sono da ritenersi irrinunciabili per i seguenti motivi di merito e laddove possibile andrebbero implementate, come dettagliato di seguito:

1. Sorgente field-emission (FEG) tipo Schottky. Questo tipo di sorgente consente di avere elevate brillanze del fascio di elettroni e ridotte dimensioni dello *spot* tali da garantire il raggiungimento di adeguate risoluzioni spaziali e importanti prestazioni analitiche, anche da aree di dimensioni subnanometriche.
2. STEM, dotato di rivelatori combinati BF - ADF - HAADF, con possibilità di implementare modalità di *imaging* complementari per una caratterizzazione completa dei campioni in osservazione.
3. Sistema EDXS con almeno due rivelatori (operanti anche in modalità *windowless*). La rivelazione multipla interessa in quanto permette sia di incrementare l'efficienza di raccolta della emissione X proveniente da volumi di interazione estremamente ridotti, sia per ottenere un *imaging* analitico tridimensionale; le capacità di rivelazione possono essere ulteriormente migliorate, soprattutto quando lo strumento funziona a bassa energia, prevedendo la possibilità di operare in modalità *windowless*. La presenza di più di due rivelatori EDXS è da considerarsi elemento di valorizzazione, giacché aumenterebbe ulteriormente le già eccellenti prestazioni analitiche della strumentazione.
4. Portacampioni single tilt e doppio tilt low-background, al fine di garantire la piena operatività della strumentazione nelle diverse modalità di funzionamento richieste per l'analisi dei diversi materiali di interesse del Dipartimento.
5. Videocamera ad altissima risoluzione (16 Mpixel almeno); una risoluzione della videocamera adeguata a quella della colonna optoelettronica è essenziale per garantire l'acquisizione di immagini con la medesima risoluzione delle immagini originali.
6. Caratteristiche operative di movimentazione del campione e dei sistemi di *imaging* e analisi tali da garantire ampia operatività nel campo delle indagini analitiche/spettroscopiche e cristallografiche.



Disciplinare Tecnico

7. Correzione della eucentricità del portacampioni per entrambi gli assi di tilt.
8. Orientazione automatica del portacampioni doppio tilt lungo specifiche orientazioni cristallografiche. I punti 7 e 8 riguardano delle possibilità operative che rispondono adeguatamente alla richiesta di cui al punto 6.
9. Possibilità di modulare le correnti del fascio elettronico primario e le tensioni di accelerazione, nell'intervallo 80 keV-200 keV, in modo da poter ottimizzare le condizioni di analisi in funzione della elettro-sensibilità e stabilità dei materiali in osservazione. Le osservazioni a basse tensioni di accelerazione degli elettroni e a basse correnti di fascio sono importanti sia per osservare campioni suscettibili di decomposizione qualora investiti da elettroni troppo energetici o da correnti troppo intense, sia per implementare forme di contrasto, alternative e/o complementari rispetto a quelle standard. La possibilità di ridurre a valori inferiori agli 80 kV la tensione di accelerazione degli elettroni, ad esempio fino a valori tipici della microscopia elettronica a scansione (e.g., 20 kV) consentirebbe di estendere considerevolmente le tipologie di campioni analizzabili.
10. Risoluzione di linea STEM pari ad almeno 0.16 nm.
11. Ingrandimento massimo STEM pari ad almeno 200 000 000 x.
12. Risoluzione di linea in trasmissione pari ad almeno 0.12 nm.
13. Ingrandimento massimo in trasmissione pari ad almeno 1 000 000x. Gli ingrandimenti e le risoluzioni precisati ai punti 10-13 sono fondamentali per poter osservare con dettaglio adeguato i campioni che si prevede di esaminare. Tali risoluzioni spaziali hanno degli ovvi riflessi anche sulle potenzialità analitiche della strumentazione.
14. Angoli $\square\square\square$ per portacampioni doppio tilt pari a $\pm 20^\circ/\pm 20^\circ$ sono da ritenersi i valori minimi ma non ottimali per poter sfruttare appieno le possibilità offerte dalla movimentazione e orientazione automatica dei portacampioni a doppio tilt. La possibilità di inclinare il campione per angoli significativamente maggiori (almeno $\pm 30^\circ/\pm 30^\circ$) rispetto a quelli su indicati è assoluto interesse per gli studi di cristallografia che si vorranno condurre.
15. Movimentazione stage lungo l'asse z: un'ampia possibilità di movimento del campione lungo l'asse z consente una maggiore libertà nel posizionamento della zona trasparente agli elettroni da osservare. L'ampiezza dello spostamento lungo



Disciplinare Tecnico

L'asse z sopra riportata considera che lo spessore esterno di un campione, soprattutto se trattasi di cross-section o di un campione sottile preparato a partire da *bulk*, può essere di 0.100-0.300 mm, e che in tale intervallo può presentarsi la zona osservabile. Pertanto poter disporre di escursioni lungo z maggiori in misura significativa (di almeno ± 350 mm) rispetto ai valori minimi richiesti (± 0.200 mm) è in taluni casi un prerequisito irrinunciabile per poter effettivamente condurre le osservazioni

16. Angolo di convergenza per LACBED. La diffrazione elettronica da fascio convergente (CBED) è particolarmente interessante per l'analisi di materiali nanostrutturati, giacché consente di ottenere informazioni cristallografiche anche di domini di dimensioni estremamente ridotte. La brillantezza del fascio di elettroni deve essere tale da garantire spettri di diffrazione "leggibili". La scelta tecnica ottimale a tal fine è la sorgente field-emission (FEG). Un'altra caratteristica fondamentale per aumentare la statistica degli spettri di diffrazione è la possibilità di raccogliere gli elettroni diffratti ad angoli elevati (superiori a qualche decina di milliradiani – 20 mrad il requisito ritenuto minimo). Tale caratteristica è inoltre indicativa della intensità e stabilità dei campi magnetici prodotti dalle lenti di focalizzazione e di deflessione del fascio, Può essere preso dunque quale importante indice di qualità della colonna optoelettronica tanto migliore quanto maggiori sono gli angoli di deflessione accessibili. Angoli di convergenza significativamente maggiori, e.g., di almeno 90 mrad è dunque da ritenersi elemento di valorizzazione dello strumento.
17. Possibilità di acquisire immagini in modalità Differential Phase Contrast aggiuntive rispetto a quelle di cui al punto 2 permetterebbe di ottenere immagini ad alta risoluzione anche senza disporre di lente obbiettivo HR, evitando così di introdurre vincoli stringenti sulle possibilità di inclinare adeguatamente il portacampioni. Disporre di tutte le forniture accessorie che ottimizzino il processo di acquisizione e analisi dei dati sperimentali.



1. Applicazioni eseguite dal sistema

La piattaforma di strumentazione deve consentire all'operatore di ottenere dati morfologici, analitici e strutturali su campioni di materiali metallici, ceramici, polimerici e di origine biologica, con eccellenti risoluzioni spaziali, laddove richiesto, capacità analitiche e di indagini strutturali (diffrazione elettronica).

2. Requisiti tecnici minimi del sistema (S)TEM-EDXS

1. Sorgente field-emission (FEG), tipo Schottky.
2. STEM, dotato di rivelatori combinati BF - ADF – HAADF.
3. Sistema EDXS con due rivelatori operanti in modalità *windowless*.
4. Portacampioni single tilt e doppio tilt low-background atti a garantire una piena operatività analitica della strumentazione.
5. videocamera ad altissima risoluzione (16 Mpixel almeno).
6. ottima operatività nel campo delle indagini analitiche/spettroscopiche e cristallografiche.
7. Correzione della eucentricità del portacampioni doppio tilt per entrambi gli assi di tilt.
8. Orientazione automatica del portacampioni doppio tilt lungo specifiche orientazioni cristallografiche.
9. Possibilità di modulare le correnti del fascio elettronico primario (modalità *low dose*) e le tensioni di accelerazione, nell'intervallo 80 keV-200keV, in modo da poter ottimizzare le condizioni di analisi in funzione della elettrosensibilità e stabilità dei materiali in osservazione.
10. Risoluzione di linea STEM da almeno 0.16 nm.
11. Ingrandimento massimo STEM di almeno 200 000 000 x.
12. Risoluzione di linea in trasmissione da almeno 0.12 nm.
13. Ingrandimento massimo in trasmissione di almeno 1 000 000 x.
14. Angoli $\square\square\square$ per portacampioni doppio tilt: $\pm 20^\circ/\pm 20^\circ$.
15. Movimentazione stage lungo asse z: ± 0.200 mm.
16. Angolo di convergenza per LACBED: 20 mrad.
17. Possibilità di acquisire immagini in modalità Differential Phase Contrast.



3. Operazioni

Il sistema dovrà essere in grado di eseguire tutte le seguenti operazioni:

- 3.a. Acquisizione di immagini BF-DF TEM con videocamera di prestazioni compatibili con il TEM;
- 3.b. Acquisizione di immagini BF-DF-HAADF STEM;
- 3.c. Acquisizione spettri EDXS per analisi qualitative, quantitative e semiquantitative;
- 3.d. Acquisizione di profili di linea e mappe EDXS-STEM;
- 3.e. Acquisizione di SAED, CBED, etc. in TEM;
- 3.f. Acquisizione spettri di microdiffrazione STEM.

4. Sistema di acquisizione ed elaborazione dati

Il sistema dovrà essere completo di adeguato sistema informatico per la acquisizione ed elaborazione delle immagini, della analisi chimiche e delle diffrazioni elettroniche.

5. Test di funzionalità eseguiti dall'Appaltatore

Dopo l'installazione l'Appaltatore dovrà eseguire i test di funzionalità da effettuare alla presenza di personale designato da UniTrento. I risultati di detti test di funzionalità, che riguarderanno il raggiungimento delle risoluzioni richieste in tutte le modalità operative, nonché tutte le funzionalità STEM ed EDXS previste dai Documenti di gara, saranno riportati in idoneo documento che certifichi la corretta operatività dell'intero sistema e la conformità alle leggi.

6. Verifica di conformità

La verifica di conformità sarà eseguita entro 30 giorni naturali e consecutivi dall'esecuzione con esito positivo dei test di funzionalità (di cui al punto 5 che precede) e riguarderà la verifica di tutti i requisiti minimi descritti in precedenza. La verifica sarà effettuata da UniTrento in presenza dei tecnici dell'Appaltatore

7. Formazione del personale e documentazione tecnica

L'Appaltatore dovrà addestrare all'utilizzo dell'apparecchiatura il personale designato da UniTrento (almeno 5 operatori come dal capitolato speciale). L'Appaltatore è inoltre tenuto a fornire i manuali e ogni altra documentazioni tecnica, redatti in lingua italiana, ove



Disciplinare Tecnico

esistenti, o inglese, idonei ad assicurare il funzionamento del sistema STEM-EDXS, compresi i manuali e le istruzioni concernenti le procedure, la diagnostica e l'utilizzo (avviamento, fermi, interventi per guasti, operazioni consentite in fase di elaborazione, ecc.).

La documentazione inerente la sicurezza dovrà essere consegnata obbligatoriamente sia in italiano che in inglese.

8. Garanzia e manutenzione

L'Appaltatore nel periodo di garanzia e manutenzione di 24 mesi o eventuale durata superiore offerta dovrà garantire la piena operatività dall'apparecchiatura e comprendente almeno le seguenti prestazioni:

Manutenzione ordinaria:

- Pulizia della colonna optoelettronica
- Sostituzione, ove necessario, della sorgente FEG
- Sostituzione, ove necessario, degli oli e delle guarnizioni del sistema da vuoto.
- Verifica della calibrazione in tutte le modalità operative: BF, DF, Diffrazione sia in modalità STEM sia TEM
- Allineamento completo del sistema a fine intervento
- Fornitura di tutti i materiali di consumo necessari per l'intervento.