



UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale



PROVINCIA AUTONOMA
DI TRENTO

Investiamo nel vostro futuro

**Programma Operativo 2014-2020
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale
- FESR -**

**PROTOCOLLO DI ACCETTAZIONE
LOTTO 2: SISTEMA FIB-SEM (Focused Ion Beam –
Scanning Electron Microscope)**

ART. 1 – GENERALITA'

L'accettazione del sistema deve essere effettuata in contraddittorio dal personale tecnico dell'Aggiudicatario e dai tecnici incaricati da FBK secondo quanto previsto dal presente protocollo.

FBK in sede di aggiudicazione si riserva tuttavia la facoltà di concordare con l'Aggiudicatario integrazioni e modifiche a detto protocollo. L'esito positivo dei risultati ottenuti nel test di pre-accettazione e nel test di accettazione costituiscono requisito essenziale per l'accettazione dell'apparecchiatura.

L'accettazione, che ha come scopo di verificare la perfetta corrispondenza di quanto fornito alle caratteristiche e funzionalità dichiarate nell'offerta tecnica, comprenderà tre gruppi di operazioni:

- a) **Verifiche qualitative e corrispondenza al capitolato:** queste verifiche riguarderanno sia la fornitura nel suo complesso sia le singole parti specificate nel capitolato tecnico. Potranno essere eseguite durante l'installazione, a insindacabile giudizio della stazione appaltante.
- b) **Verifiche quantitative dimensionali:** anche queste verifiche riguardano sia la fornitura nel suo complesso sia le singole parti che la compongono. Queste verifiche saranno eseguite al momento della consegna dei materiali o all'accettazione, sulla base del contenuto dell'ordine, delle specifiche ad esso collegate, del capitolato.
- c) **Collaudo funzionale**, consistente in:
 - a. **test di pre-accettazione (on factory acceptance test)** da effettuare a cura dell'Aggiudicatario secondo il protocollo proposto dopo l'aggiudicazione, eventualmente integrato ed emendato da FBK d'intesa con l'Aggiudicatario.
A fronte dell'esito positivo del test di pre-accettazione, basato anche sulle misure eseguite presso FBK, l'Aggiudicatario fornirà il Test Report alla Fondazione che rilascerà il nulla osta alla spedizione dell'apparecchiatura.
 - b. **test di accettazione (on-site acceptance test)** da effettuare ad installazione ultimata presso il laboratorio di FBK, come dettagliato al successivo articolo 2.

A fronte dell'esito positivo del test di accettazione on-site la Stazione Appaltante rilascerà il certificato di regolare esecuzione ed accettazione della fornitura che necessario all'amministrazione FBK per il saldo finale della fornitura.

Qualora l'apparecchiatura non superi uno o più dei test previsti, questi verranno ripetuti senza ritardo dopo gli eventuali aggiustamenti mettendo a disposizione senza nessun addebito quanto aggiuntivo o sostitutivo che si renda necessario per mettere la strumentazione in condizioni di superare i test nelle stesse modalità e alle stesse condizioni. Tutte le operazioni di accettazione on-site dovranno essere effettuate entro il termine di trenta giorni dalla data di ultimazione complessiva della fornitura, salvo quanto diversamente concordato.

L'Aggiudicatario ha l'onere di procurare, oltre al proprio personale tecnico, la strumentazione necessaria all'accettazione on site non disponibile presso FBK.

ART. 2 – SVOLGIMENTO DEL TEST DI ACCETTAZIONE ON-SITE

Il collaudo funzionale delle apparecchiature on-site prevede:

- Verifica della conformità delle utilities e delle condizioni ambientali (a carico FBK) richieste dall'Aggiudicatario in fase di offerta.
 - Verifica della calibrazione della strumentazione di misura utilizzata dal protocollo di accettazione;
 - Completa verifica della corrispondenza fra le funzionalità dichiarate dell'apparecchiatura e dei suoi controlli e i requisiti del capitolato speciale, parte tecnica;
- a. Verifica della dimensione del fascio ionico focalizzato valutata come risoluzione di 'imaging': acquisizione di un'immagine di elettroni secondari prodotta da un fascio ionico ottimale in termini di specie ionica e intensità di corrente ionica, accelerato con tensione compresa nell'intervallo 30-35 kV su un campione di riferimento su cui siano presenti nano-particelle con bordi ben definiti e con composizione atta a rendere un buon contrasto con il substrato. La dimensione del fascio sarà valutata misurando sull'immagine acquisita, in corrispondenza dei bordi di una nano-particella, la distanza (sia in direzione x che in direzione y) corrispondente ad una variazione del segnale di elettroni secondari dal 20 all'80% dell'escursione totale. La dimensione del fascio deve risultare uguale o inferiore a 15 nm.
 - b. Verifica della risoluzione di milling/ erosione del fascio ionico: realizzazione, mediante milling/erosione da fascio ionico, di alcune linee isolate di larghezza corrispondente ad un singolo pixel su un campione di riferimento costituito da un film spesso 20 nm di argento Ag evaporato su silicio. Il processo di milling può essere condotto nelle migliori condizioni dello strumento in termini di specie ionica, energia ed intensità di corrente del fascio. La larghezza delle linee verrà valutata acquisendo un'immagine di elettroni secondari. La larghezza delle linee deve essere uguale o inferiore a 20 nm.
 - c. Verifica della risoluzione delle linee depositate per ion beam induced deposition (IBID) con l'ausilio del sistema gas injection system (GIS): realizzazione di alcune linee isolate metalliche (Pt, W o altri metalli possibili data la scelta dei precursori gassosi da fornire c/o l'Appaltatore) su un substrato di silicio utilizzando il fascio ionico nelle migliori condizioni dello strumento in termini di specie ionica, energia ed intensità di corrente. La larghezza delle linee sarà misurata dopo aver acquisito un'immagine di elettroni secondari. La larghezza delle linee deve risultare uguale o inferiore a 70 nm.
 - d. Verifica della risoluzione di stitching e overlay per lavorazione con fascio ionico di campi di scrittura (100x100 μm^2) adiacenti (si vedano ad esempio le Figure 1, 2 e 3):
 - i. VERIFICA STITCHING (Figura 1): realizzazione di una prima fase di milling in cui una serie di strutture, indicate in un layer contenuto in un file GDSII, devono essere tracciate su un campione di riferimento (20 nm Ag evaporato su Si) nelle condizioni migliori per il fascio ionico in termini di specie ionica, energia degli ioni e intensità di corrente. Le strutture di questo layer devono essere tracciate in almeno 8 campi di scrittura adiacenti, disposti a L, di dimensioni ciascuno 100x100 μm^2 (un esempio possibile in Figura 1) senza l'ausilio di markers fiduciali di allineamento (navigazione cieca/ blind navigation). Il disallineamento o offset tra due strutture adiacenti ma scritte separatamente in due campi di scrittura (rettangoli blu nella figura) verrà determinato acquisendo degli scan di contrasto dell'immagine di elettroni secondari, in direzione parallela al bordo del campo di scrittura tra le due strutture, e determinando lo shift relativo tra le due distribuzioni di contrasto. Il valore di offset sarà acquisito per ogni coppia di strutture (24 nell'esempio) a cavallo dei corrispondenti bordi di campi di scrittura e lo stitching totale sarà ottenuto in maniera statistica come il valore corrispondente alla media dei valori assoluti degli

offset più tre volte la relativa deviazione standard ($|\text{offset}|$ medio $+3\sigma$). Lo stitching totale dovrà essere uguale o inferiore a 500 nm.

- ii. **VERIFICA OVERLAY** (Figure 2 e 3): utilizzando la precedente fase di milling, un secondo layer, sempre indicato nel file GDSII, sarà scritto sullo stesso campione, negli stessi campi di scrittura di dimensioni $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ del precedente layer, ossia le strutture indicate nel secondo layer devono essere tracciate utilizzando quelle del layer 1 come markers fiduciali. Successivamente verranno acquisite immagini di elettroni secondari in maniera analoga al test di stitching. L'overlay totale sarà ottenuto come nel caso precedente in maniera statistica, mediando i valori di offset che si ottengono per coppie di strutture scritte nei due layer ed adiacenti. L'overlay totale ($|\text{offset}|$ medio $+ 3 \sigma$) dovrà essere uguale o inferiore a 100 nm.
- e. Verifica della stabilità della sorgente ionica: la sorgente sarà tenuta accesa nelle migliori condizioni dello strumento in termini di specie ionica, energia ed intensità di corrente per un intervallo di 12 ore e ad intervalli regolari di un'ora l'intensità del fascio ionico sarà misurata con gli strumenti presenti nello strumento stesso. La variazione di intensità per ogni intervallo di un'ora deve essere limitata ad un valore corrispondente al $\pm 1\%$ del valore medio dell'intensità stessa misurato sullo stesso intervallo temporale.
- f. Verifica della dimensione del fascio elettronico focalizzato valutata come risoluzione di 'imaging': acquisizione di un'immagine di elettroni secondari prodotta da un fascio elettronico ottimale in termini di energia di accelerazione e di intensità di corrente, su un campione di riferimento su cui siano presenti nano-particelle con bordi ben definiti e con composizione atta a rendere un buon contrasto con il substrato. La dimensione del fascio sarà valutata misurando sull'immagine acquisita, in corrispondenza dei bordi di una nano-particella, la distanza (sia in direzione x che in direzione y) corrispondente ad una variazione del segnale di elettroni secondari dal 20 all'80% dell'escursione totale. La dimensione del fascio deve risultare uguale o inferiore a 10 nm.
- g. Verifica della risoluzione del fascio elettronico per processi di electron beam lithography: realizzazione mediante scansione del fascio elettronico di alcune linee isolate di larghezza corrispondente ad un singolo pixel su un campione di riferimento costituito da un film di Poly(methyl methacrylate) (PMMA) di ~ 100 nm di spessore depositato per spin-coating su silicio. Le linee saranno ottenute esponendo con il fascio elettronico, nelle migliori condizioni dello strumento in termini di energia ed intensità di corrente, e successivamente sviluppando lo strato esposto in opportuno solvente. La larghezza delle linee verrà valutata acquisendo un'immagine di elettroni secondari con la colonna elettronica (SEM). La larghezza delle linee deve essere uguale o inferiore a 50 nm.
- h. Verifica della risoluzione delle linee depositate per EBID con l'ausilio del sistema GIS: realizzazione di alcune linee isolate metalliche (Pt o altri metalli possibili data la scelta dei precursori gassosi) su un substrato di silicio utilizzando il fascio elettronico nelle migliori condizioni dello strumento in termini di energia e di intensità di corrente. La larghezza delle linee sarà misurata dopo aver acquisito un'immagine di elettroni secondari. La larghezza delle linee deve risultare uguale o inferiore a 70 nm.

Figura 1.

Layer 1, TEST STITCHING (le strutture da tracciare sono quelle in blu, le diverse sfumature servono solo ad indicare strutture tracciate in diversi campi di scrittura)

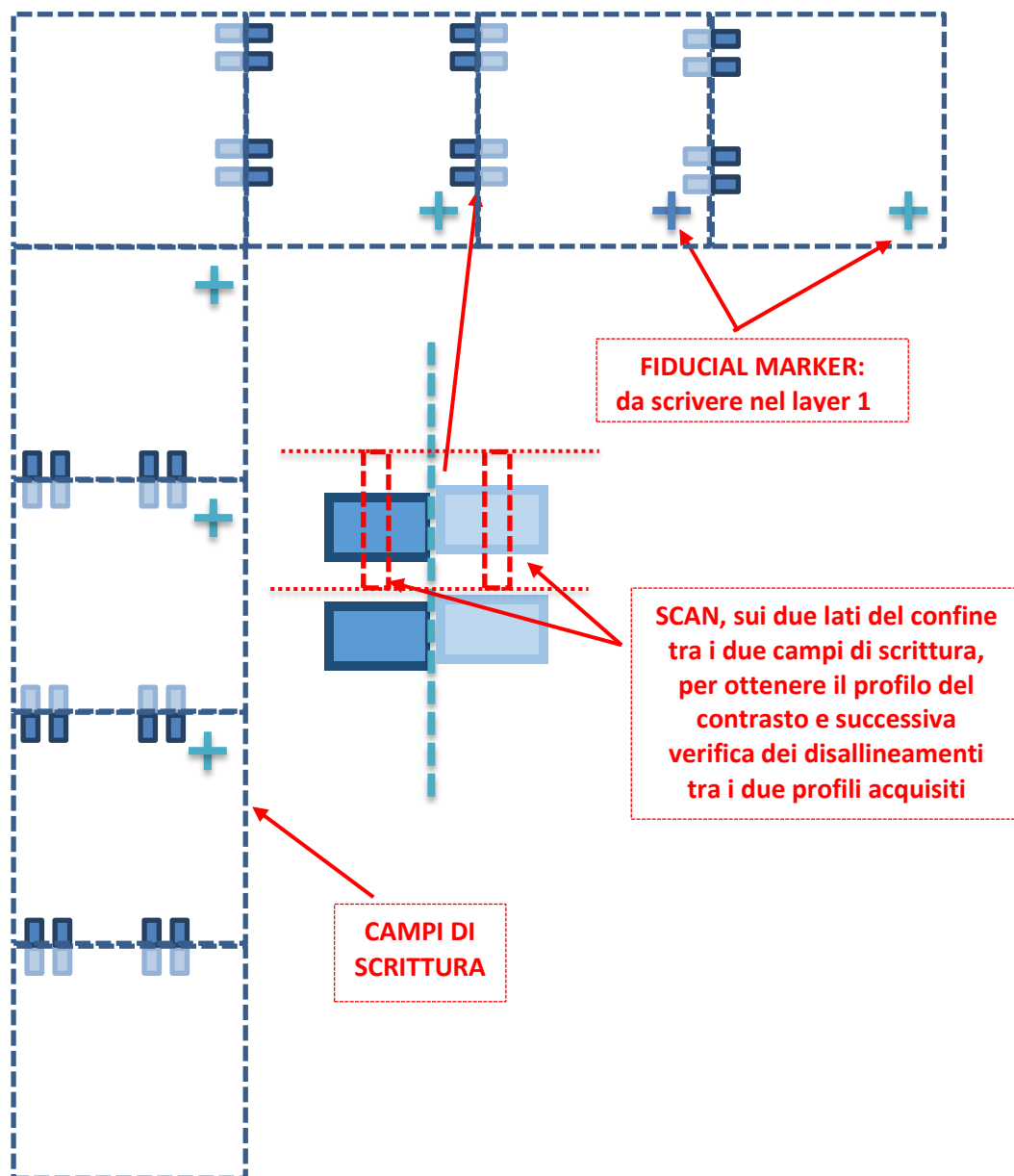


Figura 2.

Layer 2 (I markers fiduciali indicati in blu sono solo per l'allineamento, non devono essere ritracciati, le strutture da tracciare nel layer 2 sono solo quelle in rosa)

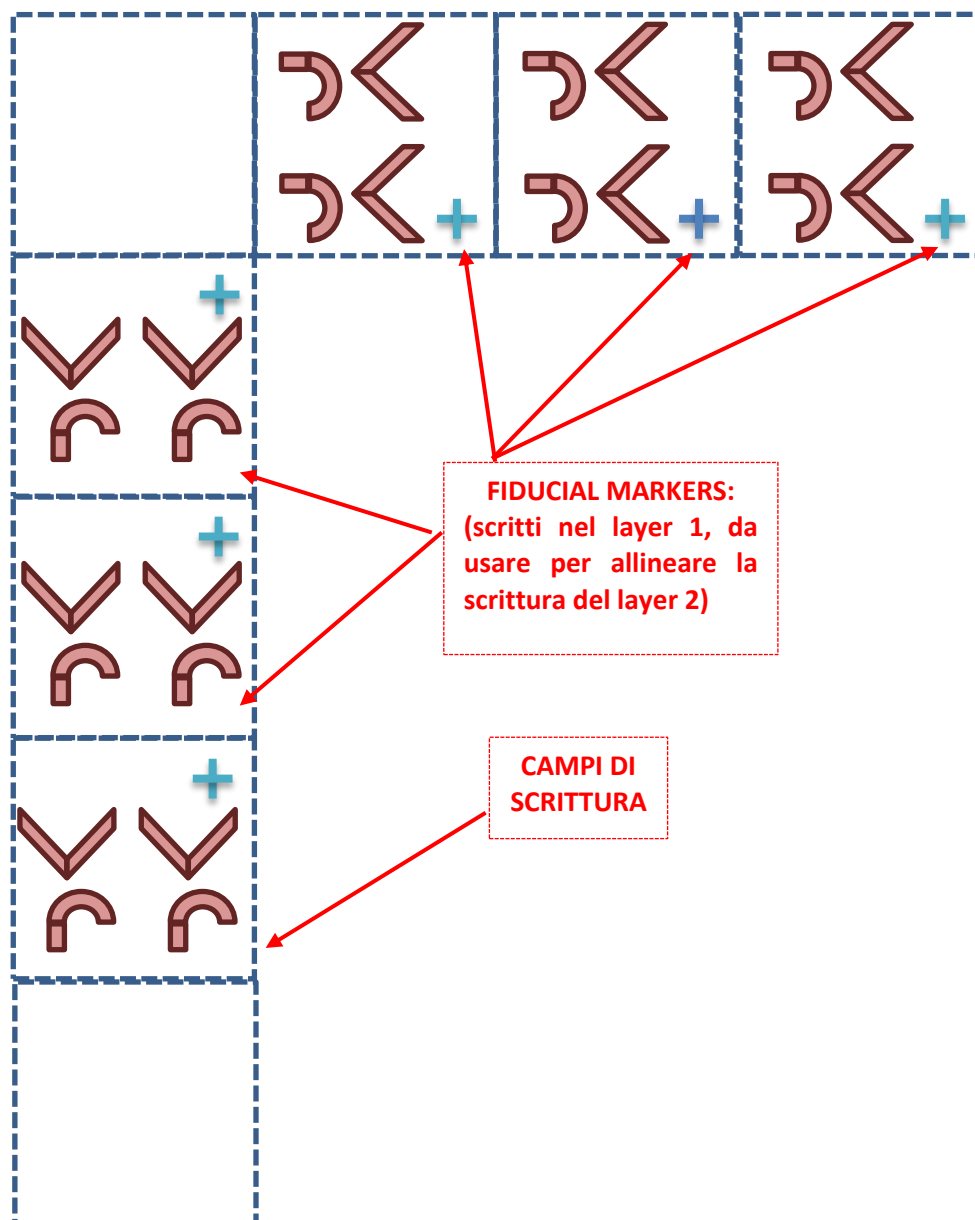


Figura 3.
Layer 1 e 2 Sovrapposti, TEST OVERLAY

