



Consiglio Nazionale delle Ricerche  
Istituto per la Microelettronica ed i Microsistemi - UOS-Lecce

c/o Campus Universitario – Via Monteroni – Palazzina 3/A – 73100 Lecce (Italy)  
tel. +39 0832 422501 – direzione +39 0832 422500 – fax +39 0832 422552  
P. IVA 02118311006 C.F. 80054330586

ALL: D

### CAPITOLATO SPECIALE D'ONERI

Il presente capitolato indica i requisiti minimi che il CNR-IMM ritiene necessari per la strumentazione di cui si intende procedere all'acquisto, ed ai quali i Fornitori devono attenersi nella formulazione della loro offerta. La strumentazione da acquisire nell'ambito del progetto è costituita da un reattore per deposizione in condizioni di vuoto ultra-alto (UHV) mediante *epitassia da fascio molecolare* (MBE) di materiali 2-dimensionali, quali grafene e semiconduttori 'graphene-like' come il nitruro di boro esagonale (h-BN) ed i composti della famiglia dei calcogenuri dei metalli di transizione (TMDC), strumentazione questa per brevità chiamata *reattore MBE*. Il reattore MBE dovrà essere installato all'interno del Laboratorio di Crescita Epitassiale del CNR-IMM, sito presso il Laboratorio di Fisica e Tecnologia dei Semiconduttori del Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione dell'Università del Salento, Campus Ecotekne di via Monteroni, Lecce.

Le caratteristiche costruttive e funzionali del reattore MBE dovranno garantire un'elevata stabilità nel tempo e riproducibilità del processo di deposizione di tali materiali, unitamente ad un ridotto livello di contaminazioni del processo stesso, in accordo con i principi ed i criteri di 'buona pratica' usualmente adottati nella tecnologia MBE. Il reattore MBE dovrà essere in grado di depositare strati di grafene mediante una sorgente a sublimazione di Carbonio, su aree corrispondenti a substrati di diametro pari (o superiore) ai 2", garantendo elevate omogeneità di spessore (migliore del 5% sull'intera area del substrato); il reattore MBE dovrà essere altresì predisposto in modo da essere (successivamente) implementabile con ulteriori sorgenti (*non comprese nella presente fornitura*) per la deposizione degli altri composti 2d, in base alle specifiche esigenze di ricerca del IMM-CNR. In particolare, sul reattore si dovranno poter successivamente implementare le seguenti tipologie di sorgenti: n. 1 cella Knudsen per il Boro; n. 1 sorgente al plasma-RF per l'Azoto (N<sub>2</sub>); n. 2 celle del tipo 'corrosive valved cracker' per Zolfo (S) e Selenio (Se); n. 1 sorgente a doppio crogiolo (multi-pocket), o in alternativa n. 2 sorgenti a singolo crogiolo, per l'evaporazione mediante fascio elettronico di metalli refrattari quali Tungsteno (W) e Molibdeno (Mo). Il reattore MBE dovrà essere inoltre dotato di un sistema per la diagnostica *in-situ* del processo mediante la metodica della diffrazione in riflessione di elettroni di alta energia (RHEED), e dovrà anche consentire la futura installazione di tecniche di diagnostica *in-situ* di tipo ottico (pirometria, ellissometria, RAS, ecc.).

Una caratteristica costruttiva importante del reattore MBE sarà la sua possibilità di essere successivamente connesso, attraverso un'opportuna linea di trasferimento fissa in condizioni UHV (*non compresa nella presente fornitura, ma prevista ai fini della predisposizione del reattore MBE*) con il Microscopio UHV-SPM dell'Università del Salento posto nel locale adiacente (si vedano le Planimetrie del laboratorio che costituiscono parte integrante del presente capitolato): allo scopo, in sede di offerta tecnica, i Fornitori dovranno definire in modo chiaro le posizioni e le quote previste per le flange di connessione dello strumento con la suddetta linea di trasferimento, si da poterne valutare la compatibilità con quelle del Microscopio SPM (e fornite dal CNR-IMM in sede di sopralluogo); i Fornitori sono tenuti ad allegare all'offerta tecnica anche uno schema (*layout*) del reattore MBE, da cui si evinca in modo univoco la disposizione ergonomica e gli ingombri all'interno del laboratorio ad esso dedicato, ed il relativo posizionamento rispetto al Microscopio UHV-SPM.

Si precisa che il reattore MBE è costituito dai seguenti moduli funzionali:

- (1) camera di processo MBE;
- (2) manipolatore del substrato;
- (3) sistema di pompaggio UHV;
- (4) sistema di diagnostica RHEED *in-situ*;
- (5) misuratore di flusso dei fasci molecolari;
- (6) camera di load-lock per il carico/scarico dei campioni;
- (7) sorgente a sublimazione di carbonio;
- (8) elettronica di interfacciamento e controllo del reattore e dei suoi sottosistemi;
- (9) PC e software di processo del reattore;
- (10) almeno n. 2 porta-campioni;
- (11) pannello di distribuzione dei fluidi di servizio.

IMM - CNR - IMM	
Tit. IX	Cl. PATRIMONIOF
<b>N. 0001125</b>	<b>20/02/2015</b>



Nel seguito sono descritte le specifiche tecniche minime richieste per ciascun modulo funzionale:

**(1) camera di processo MBE:** camera in acciaio non-magnetico per applicazioni UHV di dimensioni sufficienti ad ospitare al suo interno:

- (i) 'shroud' raffreddati ad azoto liquido (LN<sub>2</sub>) e schermi in Tantalio per evitare il 'cross-talk' delle sorgenti;
- (ii) manipolatore per substrati con diametro pari a 2" (o maggiore);
- (iii) almeno n. 6 flange (diametro esterno  $\varnothing \geq 4.5"$ ) per il montaggio di altrettante sorgenti MBE con caratteristiche/dimensioni ed angolo di montaggio rispetto al substrato tali da garantire variazioni di spessore dello strato <5% su wafer di diametro pari a 2".

La camera di processo deve essere inoltre, dotata di:

- (iv) un numero sufficiente di 'viewport' per l'ispezione del substrato, delle sorgenti, e delle operazioni di carico/scarico del substrato (*sample transfer*);
- (v) flangia di connessione al sistema di pompaggio UHV;
- (vi) flange di connessione per l'installazione dei moduli di cui ai punti (2), (4), (5) e (6) successivi, nonché per la futura installazione di un sistema di analisi di gas residui (RGA) e di sistemi di diagnostica *in-situ* di tipo ottico;
- (vii) connessione alla linea di trasferimento del campione ad altra apparecchiatura (Microscopio a Scansione di Sonda UHV-SPM) *senza interruzione delle condizioni UHV del campione*; tale connessione può prevedere la movimentazione diretta del campione tra la camera di processo MBE e la linea di trasferimento UHV (*non compresa nella presente fornitura*), o una camera di trasferimento intermedia (*da includere nella presente fornitura*) tra la camera di processo MBE e la linea di trasferimento, mantenuta costantemente in condizioni UHV (vuoto <10<sup>-10</sup> mbar); in questo caso, la camera addizionale deve prevedere una o più 'viewport' per l'ispezione delle operazioni di movimentazione del campione. La soluzione adottata deve essere chiaramente indicata nel layout del reattore allegato all'offerta, insieme ad una relazione tecnica sulle motivazioni che consentono alla soluzione proposta di soddisfare al suddetto requisito;
- (viii) valvola di rientro gas ('venting');
- (ix) misuratori di pressione atti a misurare livelli di vuoto <10<sup>-10</sup> mbar;
- (x) sistema di 'bake-out' delle pareti della camera fino a 150°C (o maggiore).

**(2) manipolatore del substrato:** atto a montare un porta-substrati per wafer di diametro pari a 2" (o maggiore), accoppiato ad un meccanismo di guida per la rotazione continua (da 0 fino a >30 rpm). Il manipolatore comprende uno 'shutter' con meccanismo di movimentazione 'soft-acting'; il manipolatore deve anche prevedere una corsa assiale sufficiente a consentire le operazioni di trasferimento del campione dalla camera di processo a quella di 'load-lock' (di cui al punto (6)) o alla linea di trasferimento al Microscopio SPM (di cui al punto (1)). Il porta-substrati è riscaldabile fino ad una temperatura nominale di almeno 1200°C. Il manipolatore è completo di termocoppia per la misura della temperatura e delle unità di alimentazione/controllo della temperatura (PID) e della rotazione del porta-substrati.

**(3) sistema di pompaggio UHV:** costituito da una combinazione di pompe ioniche, a sublimazione di titanio, turbo-molecolari e rotative 'oil-free' (come usualmente adottato nella migliore tecnologia MBE) adatta al pompaggio della camera di processo, anche sotto alti flussi di gas, ed in grado di raggiungere e mantenere un livello di vuoto limite <1x10<sup>-10</sup> mbar. In aggiunta, il modulo può includere una crio-pompa, o deve consentirne la sua futura installazione attraverso un'apposita flangia di connessione ('pumping well').

- valvole UHV a 'gate' pneumatiche e linee di pompaggio per la connessione alla camera UHV principale ed eventualmente alla pre-camera (load-lock);
- rack contenente l'elettronica di controllo delle pompe, delle valvole e dei misuratori di pressione.

**(4) sistema di diagnostica RHEED:** modulo per la diagnostica in-situ del processo di crescita epitassiale mediante diffrazione in riflessione di elettroni di alta energia. Il modulo è costituito da:

- (i) sorgente di elettroni con energie  $\geq 12$  keV, in grado di generare un fascio con dimensioni trasversali dell'ordine delle decine di micron; angolo d'incidenza e focalizzazione del fascio aggiustabile in modo manuale o via unità di controllo;
- (ii) schermo fluorescente per la visualizzazione del pattern di diffrazione con 'viewport' e shutter manuale;
- (iii) unità di alimentazione e controllo.

**(5) misuratore di flusso dei fasci molecolari:** sistema retrattile per la misura del flusso di fasci molecolari, utile alla determinazione dei 'Beam Equivalent Pressure' (BEP) delle sorgenti; il modulo è costituito da:

- (i) sensore a ionizzazione Bayard-Alpert ad alta sensibilità, montato su un traslatore con una corsa sufficiente ad essere posizionato di fronte al substrato (senza contaminarne la superficie) o represso in posizione protetta;
- (ii) shutter in Molibdeno montato di fronte al filamento del 'gauge' a ionizzazione;
- (iii) unità di alimentazione e controllo.

**(6) camera di load-lock per il carico/scarico dei campioni:** modulo adibito al carico/scarico dei substrati dalla camera di processo. La camera di load-lock è realizzata in acciaio per applicazioni UHV. Essa è dotata di:

- (i) valvola a 'gate' di isolamento della camera di load-lock dal resto del reattore MBE;
- (ii) porta di carico del substrato;
- (iii) sistema di pompaggio indipendente realizzato mediante pompa turbo-molecolare (e sua pompa rotativa 'oil-free') in grado di garantire un livello di vuoto  $<10^{-8}$  mbar;
- (iv) traslatore lineare con testa adatta al trasferimento del substrato nella camera di processo; il trasferimento può avvenire direttamente tra la camera di load-lock e la camera di processo, o attraverso la movimentazione del substrato attraverso la camera addizionale di cui al punto (1.(vii)) (se prevista);
- (v) misuratori di pressione atti a misurare livelli di vuoto fino a  $10^{-10}$  mbar;
- (vi) 'viewport' per l'ispezione delle operazioni di carico/scarico del substrato.

**(7) sorgente a sublimazione di carbonio:** sorgente di carbonio costituita da una cella a filamento di grafite pirolitica (PG), in grado di raggiungere una temperatura di sublimazione di 2300°C. La costruzione ed il volume del filamento devono garantire il massimo livello di pulizia possibile (assenza di contaminanti provenienti dai materiali della cella), un flusso di carbonio modulabile per tassi di deposizione del materiale estremamente bassi (~0.01 nm/min, o comunque compatibili con la crescita del grafene), su wafer di diametri fino a 2" (o superiore). La sorgente è costituita dalle seguenti componenti:

- (i) cella a sublimazione con filamento in PG;
- (ii) unità di alimentazione e controllo;
- (iii) 'shroud' di raffreddamento ad acqua della cella, e 'shutter' con azionamento motorizzato.

**(8) elettronica di interfacciamento e controllo del reattore e dei suoi sottosistemi:** modulo costituito dalle unità di alimentazione, monitoraggio e controllo di tutti i sotto-sistemi e moduli su citati, ed i relativi cavi di connessione con ciascun modulo, incluse tutte le interfacce di I/O digitale e DAC/ADC per il controllo via PC delle funzioni del reattore e del processo di deposizione, nonché gli eventuali interlock H/W di sicurezza dello strumento. L'elettronica deve essere predisposta per la (successiva) implementazione di tutte le sorgenti previste (a regime) per il reattore MBE, come già descritto più sopra.

**(9) PC e software di processo del reattore:** include PC e S/W dedicato per il monitoraggio in tempo reale dello stato del reattore, nonché il controllo di processo e la creazione di un *database* degli esperimenti di crescita realizzati sul reattore MBE.

**(10) porta-campioni:** almeno n. 2 porta-campioni (platen) in Molibdeno per il montaggio di substrati da 2" (o diametro maggiore, in accordo con le dimensioni previste per il manipolatore porta-substrato).

**(11) pannello di distribuzione dei fluidi di servizio:** pannello di connessione dei circuiti dei fluidi di servizio del reattore (acqua di raffreddamento, aria compressa, azoto) agli impianti di distribuzione esterni.

#### CRITERIO DI AGGIUDICAZIONE DELLA GARA:

Il CNR-IMM di Lecce procederà all'aggiudicazione della gara sulla base dell'offerta economicamente più vantaggiosa, ai sensi dell'art. 83 del D. Lgs 163/2006, individuata sulla base del punteggio complessivo risultante dalla somma dei singoli punteggi assegnati considerando i seguenti elementi:

#### **a) OFFERTA TECNICA:**

PUNTEGGIO MASSIMO RELATIVO ALLE CARATTERISTICHE TECNICHE: **80 punti** (assegnati come specificato nella Tabella sottostante):

Elementi di valutazione	Criterio quantitativo di valutazione	Punteggio massimo
Sistema di pompaggio UHV della camera principale del reattore	<b>0 punti</b> se costituito dalla combinazione di pompa turbomolecolare (TMP), pompa a sublimazione di titanio (TSP), e pompe ioniche (IGP), e predisposto per l'installazione di una crio-pompa (CRYO) attraverso l'installazione di un 'pumping well'; <b>10 punti</b> se costituito dalla combinazione TMP+TSP+IGP e l'ulteriore installazione di una CRYO;	10
Numero di porte disponibili ('spare') per l'installazione di sorgenti MBE aggiuntive (oltre quella per il Carbonio) sulla camera principale	<b>0 punti</b> per n. 5 porte 'spare' (dimensioni $\varnothing \geq 4.5''$ O.D.); <b>2 punti</b> per n. 6 porte 'spare' (dimensioni $\varnothing \geq 4.5''$ O.D.); <b>3 punti</b> per n. 7 porte 'spare' (dimensioni $\varnothing \geq 4.5''$ O.D.); <b>4 punti</b> per n. 8 porte 'spare' (dimensioni $\varnothing \geq 4.5''$ O.D.); <b>5 punti</b> per n. 9 (o più) porte 'spare' (dimensioni $\varnothing \geq 4.5''$ O.D.);	5
Temperatura massima ( $T_{max}$ ) raggiungibile dal sistema substrato/manipolatore	<b>0 punti</b> se $T_{max}=1200^{\circ}C$ ; <b>2 punti</b> se $T_{max}=1300^{\circ}C$ ; <b>5 punti</b> se $T_{max} \geq 1400^{\circ}C$ ;	5
Numero di porta-substrati (platen) in Molibdeno per wafer da 2" (o superiore)	<b>0 punti</b> per una fornitura di n. 2 platen; <b>2 punti</b> per una fornitura di n. 3 platen; <b>3 punti</b> per una fornitura di n. 4 platen; <b>4 punti</b> per una fornitura di n. 5 platen; <b>5 punti</b> per una fornitura di n. 6 platen o superiore;	5
Sistema di load-lock	<b>0 punti</b> se load-lock privo di sistema di riscaldamento per il 'degassing' del substrato; <b>10 punti</b> se load-lock fornito di sistema di riscaldamento per il 'degassing' del substrato;	10
Energia degli elettroni del sistema RHEED	<b>0 punti</b> per energia del fascio pari a 12 keV; <b>5 punti</b> per energie del fascio maggiore di 12 keV;	5
Componenti aggiuntivi (rispetto alle specifiche minime) del reattore MBE	<b>10 punti</b> per l'installazione di ciascuna sorgente aggiuntiva, tra quelle previste (a regime) sul reattore MBE; <b>10 punti</b> per l'installazione di un pirometro ottico per la misura della temperatura del campione; <b>10 punti</b> per la fornitura di un sistema per l'analisi spettrometrica dei gas residui (intervallo 1-200 a.m.u.) nella camera MBE; <b>5 punti</b> per la fornitura di un 'chiller' per il raffreddamento con acqua in circuito chiuso delle sorgenti, di potenza adeguata al raffreddamento di tutte le sorgenti previste a regime sul reattore;	30

	<b>10 punti</b> per la fornitura di una linea di trasferimento dei campioni in condizioni UHV (pressione $<1 \times 10^{-10}$ mbar) tra il reattore MBE ed il microscopio UHV-SPM, comprensiva di misuratori di pressione, sistema di pompaggio costituito da pompa TMP e pompa IGP, e relative unità di alimentazione/controllo, e sistemi di isolamento/dumping delle vibrazioni meccaniche.	
Ulteriori caratteristiche tecnico-qualitative dell'offerta	<b>2 punti</b> per ciascun trimestre di estensione della garanzia (oltre i 12 mesi di legge) dichiarata in offerta;	6
	<b>2 punti</b> per una settimana di <i>training</i> su un reattore MBE di tipologia simile a quella offerta, erogato presso la sede dell'offerente o, in alternativa, presso altro laboratorio convenzionato con il Fornitore, in periodo antecedente all'installazione e collaudo dell'apparecchiatura MBE in oggetto alla presente gara;	2
	<b>2 punti</b> per la struttura dell'assistenza tecnica del Fornitore, da assegnarsi in base alla distanza chilometrica della sede principale dell'offerente, con la seguente modalità: <b>2 punti</b> se inferiore ai 1500 km; <b>1 punto</b> se inferiore ai 2500 km; <b>0 punti</b> se superiore ai 2500 km.	2

#### **b) OFFERTA ECONOMICA:**

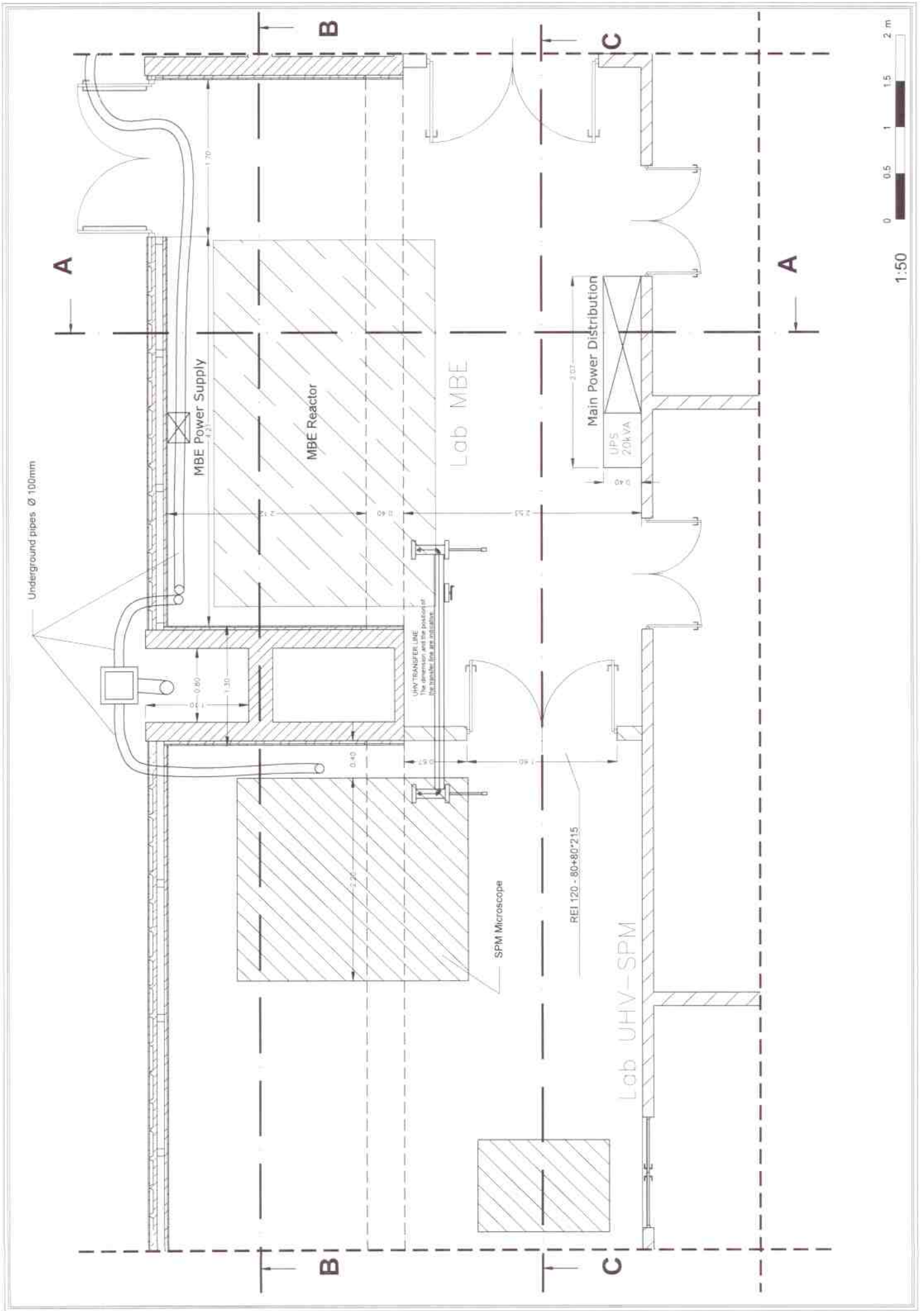
All'offerta economica che, tra tutte quelle presentate, esprima il minor prezzo è attribuito il punteggio massimo previsto per tale voce, pari a **punti 20**.

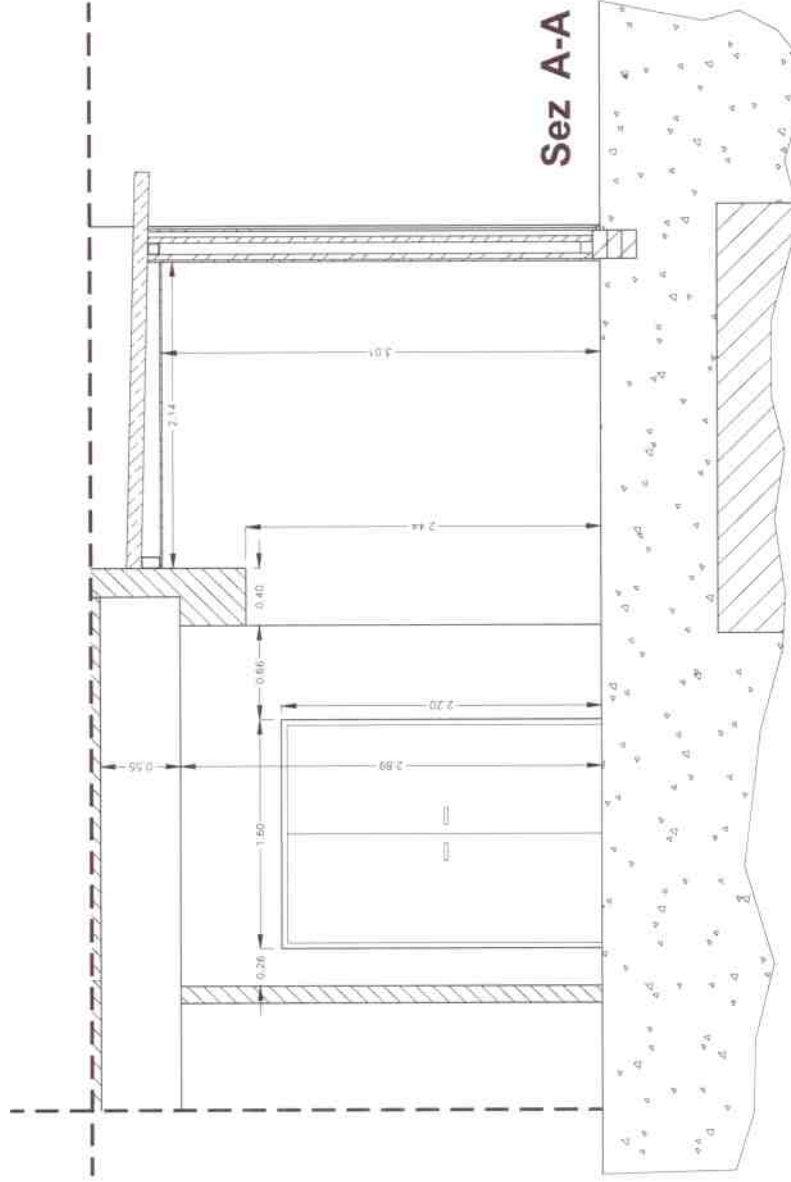
Il Punteggio relativo all'offerta economica (PE) di ciascuna offerta verrà quindi, calcolato secondo la seguente formula:

$$PE = (V_{\min} / V_{\text{offerta}}) * PE_{\max}$$

dove:

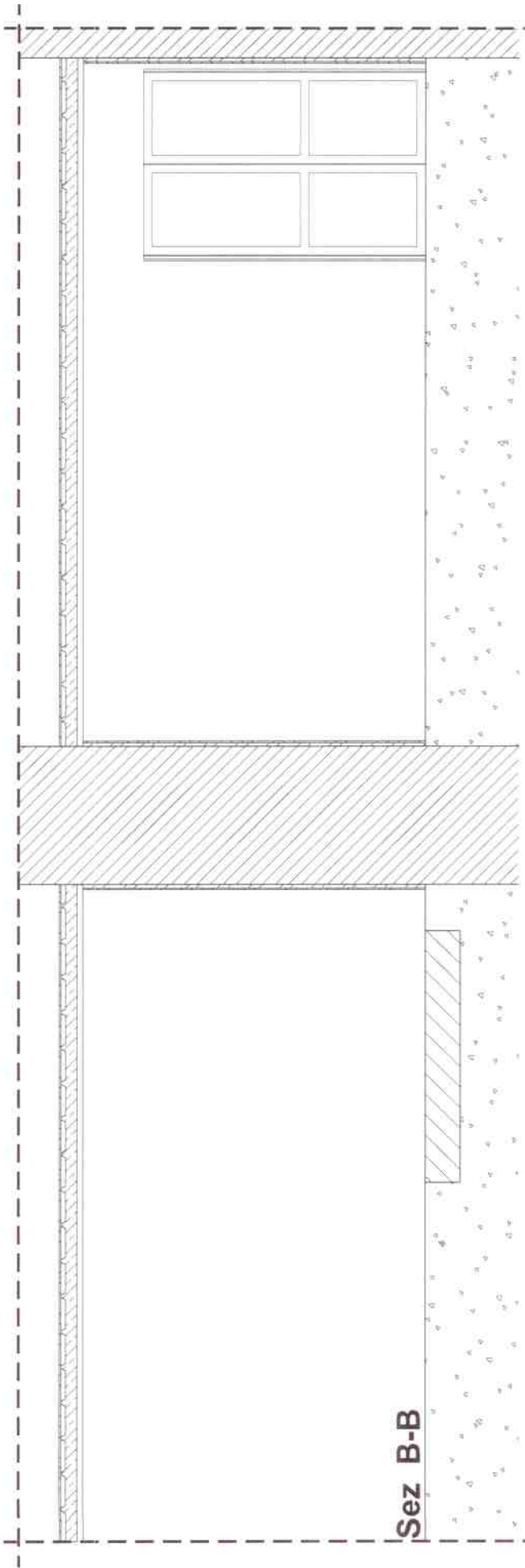
- $V_{\min}$ : è il valore dell'offerta economicamente più vantaggiosa, quindi il minor prezzo, tra tutte le proposte;
- $V_{\text{offerta}}$ : è il valore economico dell'offerta in esame;
- $PE_{\max}$ : è il punteggio massimo assegnabile all'offerta economica, ovvero 20 punti.



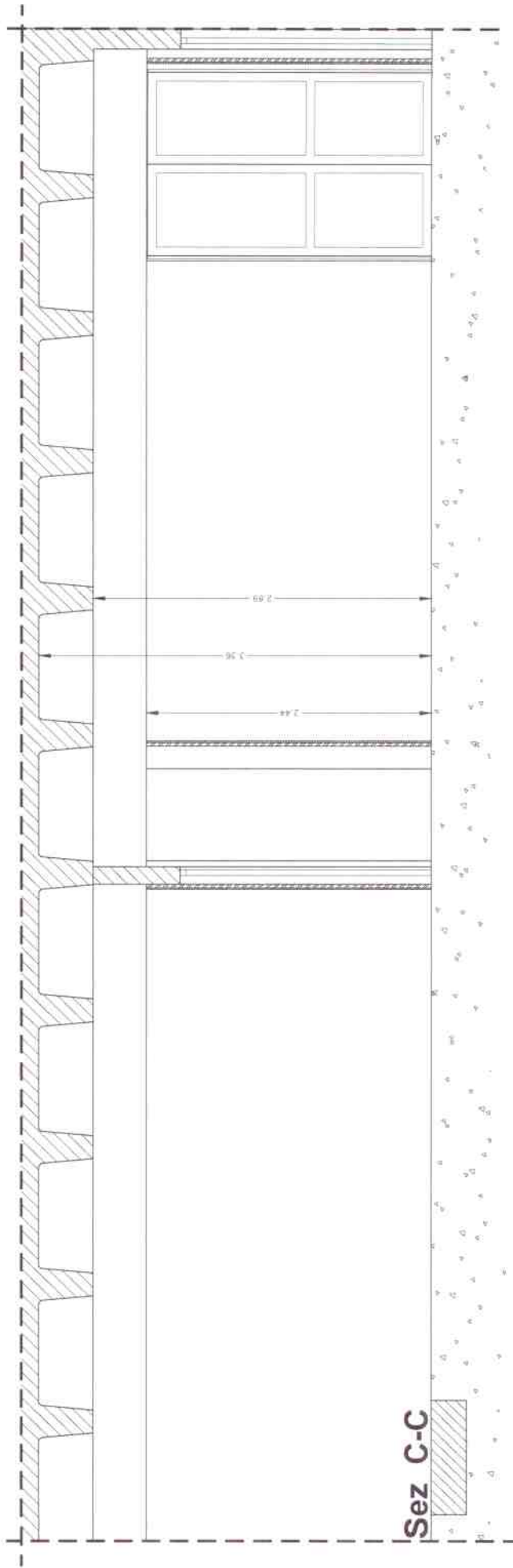


**Sez A-A**





**Sez B-B**



**Sez C-C**

