



Tipologia documento:
Specifica tecnica

**Fornitura di sistemi laser per tecniche
PIV, PLIF e Termometria Rayleigh, in combustione**

Specifica tecnica

Preparata: Guido Galgani

Agosto 2017

Questo documento contiene informazioni di proprietà di Co.Svi.G. S.c.r.l. e deve essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. E' vietata qualsiasi forma di riproduzione o di divulgazione senza l'esplicito consenso di Co.Svi.G. S.c.r.l. Qualora fosse stato ricevuto per errore si prega di informare tempestivamente il mittente e distruggere la copia in proprio possesso.



N°	Data	Preparato	Visto	Autorizzato
00	01/07/2017	Guido Galgani		
01				

PAGINA DELLE REVISIONI

Rev. n.	Data	Pagine revisionate e motivo della revisione
0		



INDICE:

1. PREMESSA	4
2. SCOPO DELLA FORNITURA	4
3. DESCRIZIONE DELLA FORNITURA	8
A. SISTEMA PIV	10
B. SISTEMA PLIF/TERMOMETRIA RAYLEIGH.....	13
C. PARTI IN COMUNE FRA SISTEMA PIV E SISTEMA PLIF/TERMOMETRIA	19
4. TOLLERANZE	33
5. IMBALLO E TRASPORTO	34
6. CONTROLLI	34
7. GARANZIA	34



1. Premessa

Il presente documento descrive la fornitura, che Co.Svi.G. Sesta Lab si appresta a richiedere, di un sistema diagnostico integrato (“chiavi in mano”) per l’esecuzione di misure di fluorescenza e diffusione elastica della luce laser al fine di caratterizzare processi di combustione in condizioni tipiche dei combustori per turbine a gas, misurandone campi di moto, concentrazioni di specie e temperatura rilevanti per determinare il progresso delle reazioni di combustione come meglio specificato in seguito.

2. Scopo della fornitura

Sesta Lab è un’azienda 100% pubblica, locata nel comune di Radicondoli (SI), al km 2.7 della SP 37. Sesta Lab svolge test in piena scala su combustori per turbogas. Annovera fra i suoi clienti i più importanti produttori di turbine a gas, nei mercati Oil&Gas, Power Generation e Aviation.

Sesta Lab possiede due Celle di test, utilizzabili dai Clienti ed affittate settimanalmente.

Grazie al supporto del bando regionale FAR-FAS 2014 (Obiettivo Operativo 2, OO2), Sesta Lab ha preso la decisione di allargare il proprio campo di lavoro alla ricerca su fenomeni di combustione di interesse per sistemi turbogas. Questo per:

- Entrare nel mondo della ricerca in modo attivo
- Diversificare i servizi per i clienti
- Sviluppare tecniche di diagnosi per sistemi di combustione turbogas

Sesta Lab si doterà quindi di una nuova Cella di test (Cella 3), con prestazioni massime inferiori alle attuali Celle (indicativamente, 1.5 kg/s di portata aria comburente, a 600°C con portata gas naturale di



max 40g/s), ma ottimizzata per l'uso di strumentazione all'avanguardia nel campo della diagnosi ottica. All'interno di Cella 3, verrà alloggiata una sezione di prova (Test Rig), ottimizzata per lo studio della combustione mediante tecniche ottiche. Sesta Lab non è attualmente in possesso dei disegni o degli sketch del Test Rig, che è parte integrante del progetto e che sarà disegnato ed ottimizzato anche in funzione delle specifiche delle tecniche di diagnostica che vi dovranno essere utilizzate.

Le tecniche ottiche di interesse possono essere riassunte nel seguente elenco esemplificativo e non esaustivo:

- PIV
- LIF/PLIF
- Termografia time resolved
- Termometria laser

Un disegno preliminare di Cella 3 è riportato in Figura 1. Le dimensioni indicate sono indicative e potranno essere inferiori fino a 1m nel layout finale, nelle direzioni x, y e z. Lo sketch riporta anche due possibili posizioni del Test Rig, con Rig (1) la posizione più sfavorevole e Rig (2) la posizione più vicina alle sorgenti laser, rispettivamente. Il Test Rig non è al momento nelle disponibilità di Sesta Lab, in quanto ancora in fase di progettazione presso terzi Studi di Progettazione. Il Test Rig sarà comunque ottimizzato per effettuare misure su bruciatori per sistemi turbogas con tecniche ottiche. Sarà quindi dotato di almeno 3 (ottimamente 4) finestre ottiche in quarzo/zaffiro, ortogonali fra di loro (non oggetto della fornitura). Il Fornitore, in mancanza di un disegno di dettaglio del Test Rig, nella presentazione dell'offerta dovrà considerare un Test Rig a forma di parallelepipedo, con sezione di prova a sezione quadrata. Essenzialmente, la miscela combustibile/aria viene alimentata da un lato del Test Rig, mentre i gas combusti sono raccolti a valle della



sezione di Test, nel condotto di scarico. La Test Section sarà equipaggiata con 3 (o 4, da definire) finestre piane in quarzo/zaffiro, con dimensione indicativa di 100x200mm².

Visto che la fornitura verrà inquadrata all'interno del BANDO FAR-FAS 2014 della Regione Toscana e nel "Piano Nazionale Industria 4.0" promosso dal Ministero dello Sviluppo Economico, dovranno essere fornite dal fornitore attestazioni/dichiarazioni che attestino le caratteristiche e la tipologia del materiale acquistato come conforme agli utilizzi dettagliati nella presente Specifica Tecnica.

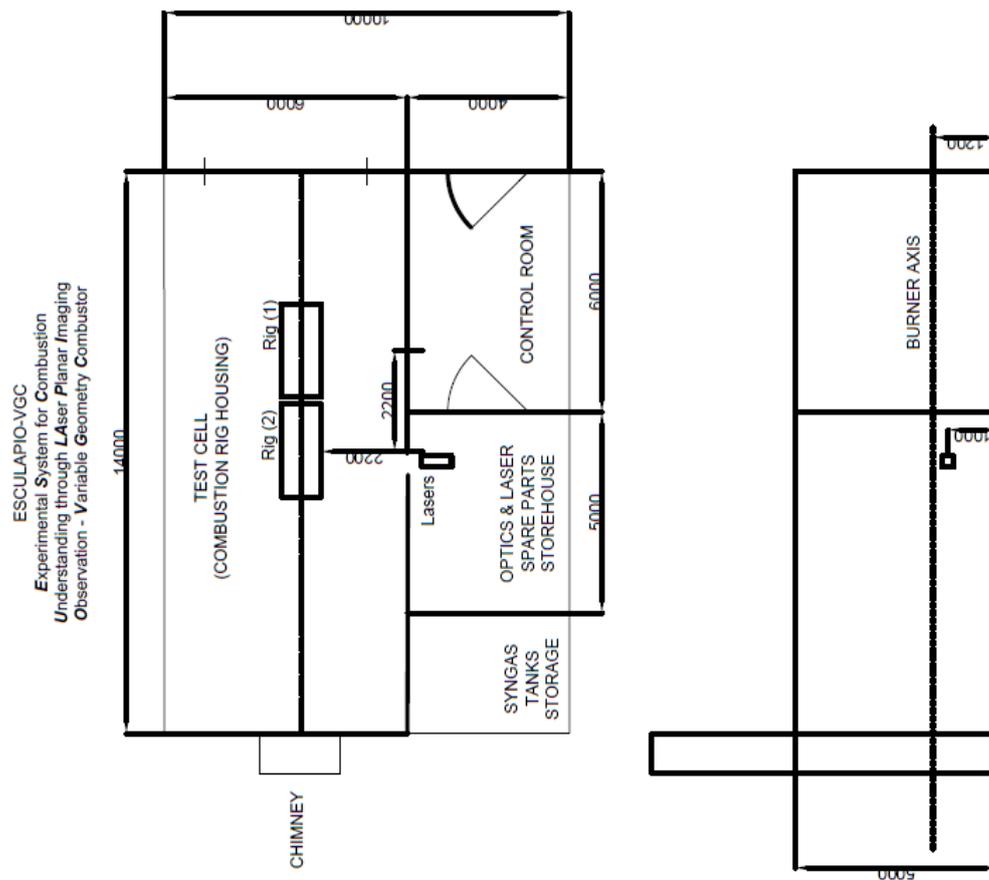
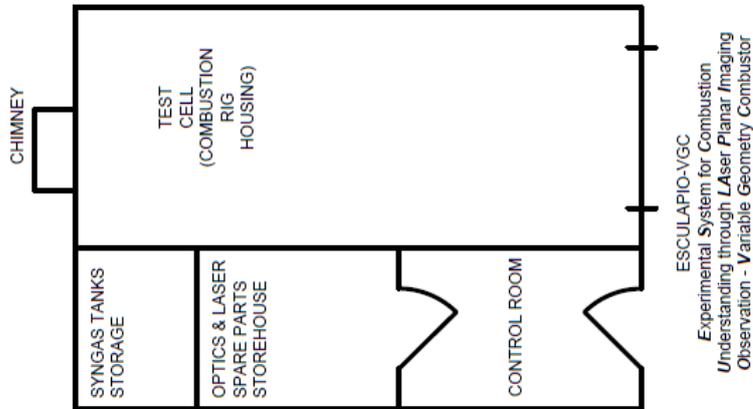


Figura 1: Sketch di Cella 3



Sesta Lab specifica che lo sketch di Figura 1 è puramente esemplificativo e che la comunicazione delle sorgenti luminose con la Test Cell potrebbe avvenire attraverso aperture diverse rispetto a quanto indicato in Figura 1, al fine di ottimizzare i passaggi ottici per le tecniche selezionate.

Sulla base di questo progetto, Sesta Lab richiede la fornitura di due sistemi PIV e PLIF/termometria Rayleigh, dedicati all'analisi ottica di fiamme e combustione in sistemi turbogas.

3. Descrizione della fornitura

Scopo della fornitura sono due sistemi laser ("chiavi in mano") per l'esecuzione di misure di Particle Image Velocimetry (PIV) e Planar Laser Induced Fluorescence (PLIF) su sistemi turbogas campione. Il sistema PLIF sarà equipaggiato anche per l'esecuzione di misure di Rayleigh thermometry. Entrambi i sistemi saranno localizzati all'interno di Cella 3, che sarà ottimizzata per l'utilizzo di sistemi laser e di tecniche di misura non intrusive. I sistemi laser saranno alloggiati in un locale climatizzato, con controllo della temperatura e dell'umidità dell'aria e con parziale filtraggio dell'aria. Il locale avrà un accesso ottico direttamente alla Test Cell e al Test Rig. Per le dimensioni di massima, si rimanda alla Figura 1. Il locale Test Cell non sarà climatizzato. Sesta Lab non è al momento in possesso dei dati sulle vibrazioni meccaniche e sonore attese nel locale denominato Test Cell. Cella 3 sarà costruita all'interno di Sesta Lab, in un ambiente potenzialmente aggressivo data la possibile presenza di H₂S.

La Fornitura di sistemi completi e "chiavi in mano" si rende necessaria per eliminare i possibili rischi derivanti dall'assemblaggio di componenti eterogenei da parte di Sesta Lab e per la sicurezza per Sesta Lab stessa di un'adeguata e collaudata assistenza post vendita.



La Fornitura di sistemi completi e "chiavi in mano" è vincolante ai fini dell'aggiudicazione della Gara.

La fornitura dei sistemi laser dovrà essere compresa entro le 14 settimane, dall'aggiudicazione della Gara.



a. Sistema PIV

Sesta Lab richiede la fornitura di un sistema di velocimetria planare con illuminazione laser che implementi la tecnica PIV, capace di effettuare misure PIV/PIV-stereo.

Il sistema dovrà comprendere tutto il necessario per poter svolgere misure PIV con una frequenza di campionamento di 5kHz. In particolare il sistema includerà la sorgente laser, un sistema ottico di trasporto e modellazione del fascio come una lamina laser di dimensioni variabili, fotocamere (fast ethernet, con memoria on board) complete di ottiche necessarie per soddisfare i requisiti dettagliati nel seguito, tutto l'hardware necessario per la digitalizzazione delle immagini raccolte con una codifica di almeno 12 bit per pixel, un software di acquisizione e di post-processing allineato al corrente stato dell'arte per le tecniche di misura PIV, un sistema di iniezione del flusso che permetta di eseguire misure in condizioni reattive (opzionale).

Di seguito, vengono dettagliate le specifiche dei componenti il sistema per l'esecuzione delle misure sperimentali PIV. La lista dei componenti si basa su una ipotesi di configurazione del sistema che potrebbe variare in base a diverse filosofie costruttive dei diversi Fornitori. Variazioni nelle configurazioni sono ammesse se non compromettono le specifiche riportate e devono comunque essere sottoposte ad approvazione, ad insindacabile giudizio di Co.Svi.G. Sesta Lab.

La sorgente laser (completa di cablaggi, refrigeratore e tutto quanto necessario al suo utilizzo), Nd:Yag o Nd:YLF, a doppia cavità, dovrà fornire un output a 532nm o 527nm o comunque nel visibile, con energia di almeno 5mJ/pulse a 5kHz. La sorgente deve poter operare fino ad 1kHz, ad energie non inferiori a 13mJ/pulse. L'output (beam)



dalla sorgente laser deve presentare uno scarto quadratico medio dell'energia emessa entro 1% e una divergenza massima contenuta entro 10mrad. Rappresenterà un plus la fornitura di energie/pulse superiori, sia a 1kHz che a 5kHz.

Per assicurare la corretta spaziatura temporale fra due beam consecutivi, è richiesta la fornitura di un sistema di compensazione temporale del ritardo fra i due pulse emessi rispetto al segnale di trigger inviato al Q-switch. Il sistema di temporizzazione dei due impulsi laser dovrà poter compensare opportunamente i segnali di trigger dei Q-switch in modo da garantire una differenza massima tra le energie degli impulsi inferiore al 10%. Il sistema deve essere meccanicamente adattabile alla sorgente laser fornita.

La lamina laser, creata con lenti convergenti e cilindriche/obiettivi telescopici (onere di fornitura), sarà indirizzata sulla sezione di prova. Nel caso di PIV, essa illuminerà particelle di insemillante (seeding). I segnali luminosi provenienti dalla sezione di prova saranno acquisiti da due telecamere CMOS operanti ad una frequenza di acquisizione, modulabile sia in basso che in alto, non inferiore a 5kHz a pieno formato. È richiesta una risoluzione almeno pari a 1280 x 800 pixel (1 MP) a 5kHz. Sarà considerato un plus la fornitura di fotocamere con risoluzione maggiori (1600 x 1200 pixel – 2 MP – o maggiore o uguale a 2048 x 1536 – 3 MP -). Sesta Lab richiede che la frequenza di acquisizione possa essere aumentata, accettando una riduzione della risoluzione: dovranno poter essere variabili sia la lunghezza che l'altezza del frame. Le immagini dovranno essere acquisite con profondità non inferiore ai 12bit. Sesta Lab valuterà come plus la fornitura di fotocamere con profondità maggiore di 12bit. Ciascuna fotocamera dovrà registrare video/immagini in una memoria interna non inferiore a 64GB. Le fotocamere dovranno essere posizionate su appositi supporti ottici, dotati di sistemi manuali di regolazione, inclusi



sistemi di regolazione di posizione Scheimpflug, per poter effettuare misure in stereo-PIV, che dovranno avere un'accuratezza entro 1mm nelle direzioni x, y e z. La fornitura di sistemi Scheimpflug motorizzati e regolabili da software sarà considerata un plus e valutata in fase di Gara.

La comunicazione con il sistema di acquisizione avverrà attraverso cavo ethernet (fast ethernet). Sono inclusi nella fornitura tutti i cablaggi e cavi per la connessione delle fotocamere al sistema di acquisizione e qualunque cosa non specificata per consentire la corretta integrazione della fotocamera con il sistema di acquisizione.

Ciascuna fotocamera dovrà essere equipaggiata con un obiettivo di lunghezza focale compresa fra $f = 85\text{mm}$ e $f = 105\text{mm}$, almeno F/2.8, manuale. È onere del Fornitore predisporre quanto necessario per il corretto accoppiamento degli obiettivi con le fotocamere. Sesta Lab richiede comunque la fornitura di obiettivi con attacco F (Nikon). Verrà valutato come plus la fornitura di ulteriori due obiettivi compatibili con le fotocamere fornite e con caratteristiche $f = 200\text{mm}$, almeno F/2.8. Sesta Lab raccomanda la fornitura di obiettivi con vignettatura inferiore a 0.7EV, a tutta apertura.

Sesta Lab richiede la fornitura di due filtri sul verde, uno per ciascuna fotocamera, con caratteristiche $532\text{nm} \pm 10\text{nm}$. Nel caso di fornitura di laser con output a 527nm , i filtri dovranno essere con caratteristiche $527\text{nm} \pm 10\text{nm}$.

Sesta Lab richiede la fornitura di un kit di calibrazione PIV. Il kit sarà definito da una piastra a rilievo di dimensioni minime $50 \times 50 \text{ mm}^2$ con punti uniformemente distanziati a 5mm (distanza centro - centro), con diametro massimo dei cerchi pari a 1.5 mm.

Il Fornitore dovrà fornire due filtri anti-peak locking, uno per ciascuna fotocamera, dedicati alla riduzione dell'errore di peak locking. Il sistema dovrà essere del tutto compatibile con l'hardware previsto



per le telecamere e con il sistema di regolazione di posizione Scheimpflug.

Sesta Lab richiede inoltre la fornitura di un sistema insemillante per l'iniezione di particelle all'interno della sezione di prova. Sesta Lab richiede un sistema insemillante certificato per pressioni non inferiori a 15 bar ed esercibile nel range [1 – 15] bar, con portata minima di aria pari a 0.25 kg/s. La fornitura di un sistema insemillante capace di gestire portate d'aria a temperatura di 600°C sarà valutato come un plus opzionale. Non è oggetto della fornitura il sistema di controllo, e quanto fisicamente a monte del sistema di iniezione.

Sesta Lab richiede inoltre la fornitura di 5 kg di particelle di biossido di titanio TiO_2 e 5 kg di ossido di alluminio Al_2O_3 . In entrambi i casi le particelle dovranno avere diametro medio compreso tra 0.5 e 4 μm .

b. Sistema PLIF/termometria Rayleigh

Sesta Lab richiede la fornitura di un sistema di diagnosi ottica PLIF e termometria Rayleigh. Scopo della fornitura è un sistema per l'esecuzione di misure simultanee di termometria bidimensionali e di OH-PLIF, su sistemi turbogas campione. Riguardo alla termometria planare, Sesta Lab richiede la fornitura di un sistema con illuminazione laser che implementi la tecnica di termometria basata sullo scattering di Rayleigh e che sia utilizzabile simultaneamente alle misure di fluorescenza.

Per una breve descrizione della Rayleigh Thermometry si rimanda all'Appendice alla presente Specifica Tecnica.

Il sistema dovrà comprendere tutto il necessario per poter svolgere misure OH-PLIF e di termometria bidimensionali con una frequenza di campionamento di almeno 10Hz. In particolare il sistema includerà le sorgenti laser (pump laser + Dye Laser), un sistema ottico trasparente all'UV di trasporto e modellazione del fascio come una lamina laser di



dimensioni variabili, fotocamere (fast ethernet, con memoria on board) complete di ottiche UV necessarie per soddisfare i requisiti dettagliati nel seguito, tutto l'hardware necessario per la digitalizzazione delle immagini raccolte con una codifica di almeno 12bit per pixel, un software di acquisizione e di post-processing allineato al corrente stato dell'arte per le tecniche di misura PLIF e di termometria Rayleigh (che dovrà essere il medesimo fornito per il sistema PIV, come dettagliato in seguito).

Di seguito, vengono dettagliate le specifiche dei componenti per il sistema per l'esecuzione delle misure sperimentali di termometria 2D e OH-PLIF. La lista dei componenti si basa su una ipotesi di configurazione del sistema che potrebbe variare in base a diverse filosofie costruttive dei diversi fornitori. Variazioni nelle configurazioni sono ammesse se non compromettono le specifiche riportate in seguito e devono comunque essere sottoposte ad approvazione, ad insindacabile giudizio di Co.Svi.G. Sesta Lab.

La sorgente laser (completa di cablaggi, refrigeratore e tutto quanto necessario al suo utilizzo), Nd:Yag (pump laser), dovrà fornire un output a 532nm ad una frequenza di ripetizione dell'impulso almeno pari a 10Hz, con durata del pulse non superiore a 10ns. Il beam andrà ad alimentare un laser a coloranti (Dye Laser), in grado di fornire a sua volta un output a 283.2nm con energia del singolo impulso pari ad almeno 20mJ/pulse a 10Hz. Il fascio in uscita dal Dye Laser dovrà avere una divergenza inferiore ad 1mrad. Rappresenteranno un plus l'esercizio del sistema con energie/pulse superiori a 20mJ a 10Hz a 283.2nm, così come l'esercibilità del sistema a frequenze superiori, con output comunque non inferiore a 5mJ/pulse a 20Hz a 283.2nm. Il Fornitore dovrà anche indicare il colorante con il quale alimentare il Dye Laser e per effettuare misure del radicale OH.



Il Fornitore dovrà specificare tutte le procedure da seguire per il cambio del tracciante e gli intervalli di manutenzione. Sesta Lab richiede inoltre la fornitura del colorante/tracciante necessario all'utilizzo del Dye-Laser per almeno due set di prova (setup iniziale + ricarica)

Per l'impiego della sorgente pump laser anche per misure di termometria Rayleigh, è inoltre richiesto che la medesima sorgente sia in grado di fornire un output alla lunghezza d'onda 532nm non inferiore a 400mJ/pulse a 10Hz o (come plus e fortemente consigliato) Sesta Lab richiede che il medesimo pump laser sia in grado di fornire un output ad una lunghezza d'onda di 355nm, non inferiore a 120mJ/pulse a 10Hz. L'output (beam) dalla sorgente pump laser deve presentare uno scarto quadratico medio dell'energia emessa entro 1% e una divergenza massima contenuta entro 5mrad.

La sorgente laser dovrà essere equipaggiata con un otturatore, comandabile da software, che possa chiudere l'output del laser per piccoli periodi tempo, necessari ad effettuare veloci aggiustamenti nel setup sperimentale senza dover spegnere il laser.

Sesta Lab richiede la fornitura di un sistema di monitoraggio dell'energia emessa dal laser per ogni impulso. L'informazione dovrà essere disponibile per l'operatore che potrà confrontare l'energia del impulso con quella richiesta. Sesta Lab accetterà la fornitura del sistema solo nel caso in cui la perdita di energia per impulso causata dall'inserimento del sistema di misura dell'energia dell'impulso sia inferiore al 5%.

Il fascio laser in uscita dal Dye Laser verrà convogliato e trasformato in una lamina di luce per mezzo di un sistema, oggetto della fornitura, dettagliato nelle sezioni seguenti. La lamina laser creata con lenti cilindriche/obiettivi telescopici trasparenti all'UV sarà indirizzata sulla



sezione di prova previo passaggio attraverso un beam splitter per separare la luce in funzione della lunghezza d'onda.

I segnali luminosi provenienti dalla sezione di prova saranno acquisiti da due telecamere CMOS, ciascuna equipaggiata con un intensificatore di immagini (rimovibile). Una telecamera CMOS intensificata sarà utilizzata per l'acquisizione del segnale di fluorescenza del radicale OH e l'altra per l'acquisizione del segnale di Rayleigh scattering. Entrambe saranno dotate di un filtro di polarizzazione e con tempi di esposizione molto brevi (minore o uguale a 100 ns, impostabile), durante i quali la chemiluminescenza ottenuta dalla fiamma potrà essere assunta come trascurabile. È richiesta una risoluzione almeno pari a 1280 x 800 pixel (1 MP). Sarà considerata un plus la fornitura di fotocamere con risoluzione maggiori (1600 x 1200 pixel – 2MP – o maggiore o uguale a 2048 x 1536 – 3MP -). La frequenza di acquisizione deve poter essere modulabile e non inferiore a 30Hz, a pieno formato. Sesta Lab richiede che la frequenza di acquisizione possa essere aumentata, accettando una riduzione della risoluzione: dovranno poter essere variabili sia la lunghezza che l'altezza del frame, in modo indipendente. Le immagini dovranno essere acquisite con profondità non inferiore ai 12bit. Sesta Lab valuterà come plus la fornitura di fotocamere con profondità maggiore di 12bit. Ciascuna fotocamera dovrà registrare video/immagini in una memoria interna, consigliata di almeno 16GB. La fotocamera dovrà essere posizionata su supporti meccanici, dotati di sistemi manuale di regolazione della posizione della camera. La comunicazione avverrà attraverso cavo ethernet (fast ethernet). Sono inclusi nella fornitura tutti i cablaggi e cavi per la connessione della fotocamera al sistema di acquisizione e qualunque cosa non specificata per consentire la corretta integrazione della fotocamera con il sistema di acquisizione.



Le fotocamere dovranno essere equipaggiate una con due obiettivi UV di lunghezza focale compresa fra $f = 85\text{mm}$ $f = 105\text{mm}$, almeno F/2.8, manuale. Gli obiettivi UV dovranno essere trasparenti all'ultravioletto a partire da lunghezze d'onda di 200nm. Sesta Lab richiede che il Fornitore accompagni gli obiettivi con un certificato che ne attesti il reale funzionamento nell'UV. È onere del Fornitore predisporre quanto necessario per il corretto accoppiamento degli obiettivi con le fotocamere. Rappresenterà un plus la fornitura di una ulteriore coppia di obiettivi, trasparenti all'UV, con lunghezza focale $f = 200$, almeno F/2.8, compatibili con le fotocamere fornite. Sesta Lab raccomanda la fornitura di obiettivi con vignettatura inferiore a 0.7EV a tutta apertura.

Sesta Lab richiede la fornitura di due intensificatori di immagini da accoppiare alle fotocamere. L'intensificatore si rende necessario per poter acquisire correttamente il segnale proveniente dall'emissione del radicale OH nella lunghezza d'onda 310nm e per una miglior acquisizione del segnale da Rayleigh scattering. Il modello fornito di intensificatore dovrà avere una QE (quantum efficiency) almeno pari al 15% nel range (almeno) [200 – 450]nm e mantenere una apprezzabile sensibilità fino al vicino infrarosso (800 nm). Gli intensificatori dovranno essere del tipo impulsato con una esposizione minima minore o uguale a 10ns. L'accoppiamento con le telecamere e gli obiettivi dovrà essere compatibile con Nikon F-mount (anche tramite un adattatore che non ne comprometta il campo di vista).

Sesta Lab richiede la fornitura di un filtro interferenziale passa-banda trasparente all'UV, con una lunghezza d'onda centrale di 320 nm ed una FWHM +/- 20nm, corrispondente all'emissione dei radicali OH. Sesta Lab richiede la fornitura del certificato di trasmissione del filtro, che non dovrà essere inferiore al 70% in corrispondenza della lunghezza d'onda nominale.



Sesta Lab richiede la fornitura di un filtro interferenziale passabanda trasparente all'UV, con una lunghezza d'onda centrale di 266nm ed una FWHM +/- 10nm. Sesta Lab richiede la fornitura del certificato di trasmissione del filtro, che non dovrà essere inferiore al 60% in corrispondenza della lunghezza d'onda nominale.

Sesta Lab richiede la fornitura di un filtro interferenziale passabanda, con una lunghezza d'onda centrale 355nm ed una FWHM +/- 5nm, da utilizzare per l'acquisizione del Rayleigh scattering. Sesta Lab richiede la fornitura del certificato di trasmissione del filtro, che non dovrà essere inferiore al 80% in corrispondenza della lunghezza d'onda nominale.

Sesta Lab richiede inoltre come plus opzionale, ma fortemente consigliato al fine di ottimizzare le misure di termometria Rayleigh, la fornitura di un sistema e delle relative componenti ottiche per minimizzare/eliminare gli effetti di contaminazione da stray-light. A titolo esemplificativo e non esaustivo, si può fare riferimento a tecniche di modulazione della lamina laser al fine di ottenere una illuminazione strutturata e valutare l'intensità di background presente nella misura. Il dispositivo deve essere automatizzato e deve consentire il miglioramento del segnale di Rayleigh scattering con riduzione del rumore di fondo, a seguito di un'ottimale modulazione del fascio laser. L'intero sistema di ottimizzazione, assieme alle eventuali ottiche necessarie, deve quindi consentire la separazione della componente modulata da quella non modulata per ottenere immagini del campo di temperatura prive di contaminazioni. Nel caso di fornitura del sistema di ottimizzazione, Sesta Lab richiede quindi la fornitura di un sistema di rail, holder per ottiche, ottiche cilindriche/obiettivi telescopici, prismi o Ronchi grating per creare la lamina laser con illuminazione modulata e strutturata della sezione di prova.



c. Parti in comune fra sistema PIV e sistema PLIF/termometria

Di seguito sono indicati gli elementi comuni fra i due sistemi descritti sopra (PIV e PLIF/termometria) e che saranno oggetto della fornitura:

Entrambe le sorgenti luminose per PIV e PLIF/termometria dovranno essere posizionate su di un banco ottico. Sesta Lab, anche in considerazione dell'ambiente aggressivo nel quale è collocato l'impianto, richiede che il banco sia con piano in alluminio con trattamento passivante per evitare fenomeni di ossidazione. Il tavolo dovrà avere dimensioni non inferiori a 1500mmx1800mmx200mm e consentire comunque l'alloggiamento di entrambe le sorgenti luminose per PIV e PLIF/termometria. Il Fornitore ha facoltà di proporre un banco ottico di dimensioni e di caratteristiche differenti, che dovrà essere accettato da Sesta Lab, a suo insindacabile giudizio.

Per le diagnostiche PIV e PLIF/termometria illustrate in precedenza dovrà essere fornito tutto quanto necessario per il trasporto dei raggi laser dalla stanza condizionata in cui alloggeranno le sorgenti luminose fino al Test Rig, nelle posizioni brevemente descritte in Figura 1. La posizione del foro di apertura fra il luogo in cui saranno posizionate le sorgenti laser e la Test Cell è riportata in Figura 1 come indicativa. Il Fornitore può proporre una soluzione alternativa (in termini di quote e di passaggi laser) che dovrà essere approvata ad insindacabile giudizio di Sesta Lab.

A titolo esemplificativo, ma non esaustivo, è quindi richiesta la fornitura di:

- le componenti ottiche a basso assorbimento, alle lunghezze d'onda delle sorgenti laser, con relativi supporti adatti al montaggio sulle slitte, necessarie per direzionare i fasci laser dalle sorgenti alla sezione di prova. In particolare per le sorgenti da utilizzare per la PLIF (e anche termometria, nel caso di eccitazione sulla lunghezza



d'onda di 355nm) si dovrà tenere in conto la necessità di fornire componenti ottiche adatte ad una radiazione nell'UV (283 nm) con elevata energia.

- un sistema di binari, slitte e strutture meccaniche di supporto adatte ad un uso in ambiente industriale atto a realizzare i suddetti sistemi di trasporto dei fasci laser. Questa fornitura di strutture meccaniche (su progetto ad hoc) per consentire il montaggio dei supporti per le ottiche e per indirizzare il fascio è opzionale e sarà considerata un plus in fase di Gara. Il Fornitore dovrà comunque dettagliare un layout finale a Sesta Lab, per approvazione.
- un sistema di manipolazione dei fasci laser (ottiche convergenti, divergenti e/o obiettivi telescopici) atto a creare lamine laser, di altezza di dimensioni variabili tra 50 e 200mm e spessore minimo, compatibilmente con il limite di diffrazione, nella sezione di misura del test rig. Sesta Lab richiede che anche per la PIV le ottiche/obiettivi telescopici siano trasparenti all'UV (come per il sistema PLIF/termometria), in quanto dovranno essere le stesse da utilizzare durante misure di Termometria Rayleigh;
Il sistema di sagomatura del fascio sotto forma di lamina può essere costituito da una lente cilindrica o un obiettivo telescopico trasparente all'ultravioletto (range [200 - 750] nm) con lunghezze focali di -10mm, -20mm e -50mm;
- Il necessario (tubi di materiale opportuno, schermi metallici e supporti, sistemi di raccordo etc) per la realizzazione di un percorso protetto dei fasci laser o di due percorsi separati se ciò risultasse più conveniente. Tali percorsi dovranno essere predisposti per il soffiaggio di aria al loro interno per prevenire sporco ed evitare innalzamenti eccessivi delle temperature delle componenti ottiche.
- Un "beam combiner" (trasparente all'UV), da utilizzare per illuminare contemporaneamente la stessa sezione di prova con i fasci



provenienti dalla sorgente per PIV e dalla sorgente per PLIF/termometria.

- Uno o due smorzatori, per attenuare la potenza del raggio laser una volta che questi abbia attraversato la sezione di prova. Gli smorzatori dovranno avere una potenza tale da sopportare senza danno un uso continuativo e contemporaneo delle due sorgenti laser al massimo della loro potenza.

I sistemi di trasporto dei fasci luminosi dalla sorgente alla sezione di prova dovranno garantire una perdita massima di energia luminosa dei fasci durante il trasporto minore del 15%. Questo requisito è particolarmente stringente per la radiazione laser da utilizzare per la PLIF che, essendo ultravioletta, pone maggiori problemi di attenuazione. Il fornitore dovrà dare evidenza a Co.Svi.G. Sesta Lab della riduzione del segnale entro questo valore.

Sesta Lab richiede che i sistemi PIV e PLIF/termometria siano completamente indipendenti l'uno dall'altro. Pertanto il Fornitore non potrà avvalersi di un'unica sorgente laser, sdoppiando il raggio tramite beam splitter, da utilizzare per PIV e PLIF/termometria.

Il Fornitore può prendere in considerazione il trasporto del segnale laser dalle sorgenti alla sezione di prova utilizzando fibre ottiche. In questo caso Sesta Lab riterrà accettabile una attenuazione del segnale minore del 20%. Il Fornitore dovrà dare evidenza a Co.Svi.G. Sesta Lab dell'attenuazione (massima) del segnale entro questo valore.

Il Fornitore, sulla base delle indicazioni su riportate e della Figura 1, dovrà dettagliare un layout finale a Sesta Lab (comprendente la disposizione del laser, passaggi, specchi, beam combiner,...), la cui approvazione sarà ad insindacabile giudizio di Sesta Lab. Sesta Lab sottolinea comunque come eventuali ottimizzazioni nei passaggi dei segnali laser, nei punti di acquisizione e in generale degli spazi riportati



in Figura 1 è a tutt'oggi possibile e sarà valutata qualora comporti l'ottimizzazione delle tecniche di diagnosi ottica utilizzate.

I segnali (per PIV e PLIF/termometria) provenienti dal Test Rig dovranno essere acquisiti dalle rispettive fotocamere e quindi trasferiti al sistema di acquisizione e post-processing attraverso una porta ethernet (fast ethernet). Il sistema dovrà comporsi di uno o due PC (il fornitor ha l'obbligo di motivare la decisione e di presentare pregi e difetti della soluzione presentata. Nel caso di due PC, uno è riservato alle acquisizioni PIV mentre l'altro alla PLIF) dual processors, con numero di core non inferiore a 12. Faranno parte della dotazione anche tastiera, mouse, lettore DVD, 32GB RAM, hard disk da 2TB o equivalente, schermo da 24", OS Windows. Sesta Lab richiede che il Fornitore implementi un pacchetto GPU (hardware e software) per aumentare la velocità di analisi delle misure PIV.

Il software di acquisizione, controllo e post-processing (medesimo per PIV e PLIF/termometria) dovrà essere un software commerciale, con possibilità di acquisire/esportare file in formato BMP, JPG, TIF, Tecplot, DAT, TXT, PS. È richiesta anche la possibilità di acquisire filmati in formato AVI. Il software dovrà essere in grado di svolgere operazioni di calibrazione, riduzione della distorsione, mascheratura, image post-processing, valutazione e correzione dell'attenuazione della lamina laser nell'attraversamento del mezzo (eventualmente con pacchetto software aggiuntivo), valutazione delle grandezze fluidodinamiche (medie delle velocità x-y-z, deviazioni standard, TKE, vorticità, ...), valutazione del profilo di concentrazione relativo dell'OH e in generale tutto quanto necessario per l'acquisizione, e il post-processing di immagini PIV, PLIF e termometria Rayleigh. Sesta Lab richiede la fornitura di almeno due licenze, ciascuna installabile su almeno due PC (non in uso nello stesso istante). Il software dovrà essere dotato di eventuali moduli (se non presenti di default nella



fornitura) per l'analisi di immagini PIV, PIV 3D stereo. Il software di acquisizione dovrà essere predisposto anche per l'esecuzione di misure 3D tomografiche. Sesta Lab non richiede comunque al momento la fornitura di pacchetti software per l'esecuzione di misure 3D tomografiche, per le quali si rimanda a futuri upgrade.

Il software dovrà svolgere operazioni controllo, acquisizione e post-processing. Dovrà essere in grado di controllare simultaneamente entrambe le sorgenti laser e la sincronizzazione delle misure PIV + PLIF e PLIF + termometria Rayleigh. Il software dovrà quindi avere pieno controllo sulla parte hardware, incluso il Dye Laser. Il software dovrà essere commerciale di proprietà del Fornitore. In alternativa, è ammessa la fornitura di software non di proprietà del Fornitore, ma per il quale il Fornitore detenga ufficiale licenza di distribuzione da parte del proprietario del software. Al di fuori di questa casistica, non è ammessa la fornitura di terzi software di acquisizione/post-processing (compresi open source software). Non è ammessa la fornitura di software appositamente sviluppati per rispondere al presente Bando di Gara.

Sesta Lab richiede di ricevere in modo gratuito dal Fornitore eventuali nuove releases del software che dovessero essere rilasciate entro 5 anni dalla data di fornitura del sistema completo a Sesta Lab. Inoltre per i pacchetti installati, Sesta Lab richiede la fornitura di aggiornamenti a vita (life-time), fino a quando saranno aggiornati dal proprietario del software.

Per una corretta sincronizzazione delle misure, Sesta Lab richiede la fornitura di uno o più sistemi di sincronizzazione dei segnali laser per misure simultanee di PIV e PLIF e PLIF + termometria Rayleigh, secondo le specifiche dettagliate nelle sezioni precedenti per ciascuna tecnica. La scelta del sistema di sincronizzazione potrà andare ad influire anche sulla fornitura del numero di PC e delle licenze software:

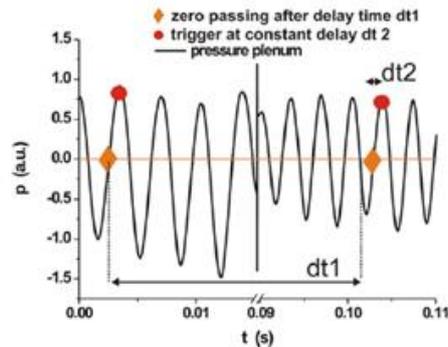


il Fornitore può proporre acquisizioni su un stesso PC o configurazioni master/slave con due PC, per test con misure sincronizzate. La proposta del Fornitore sarà sottoposta, evidenziandone fattibilità, pregi e difetti, a Co.Svi.G. Sesta Lab, che la approverà a suo insindacabile giudizio.

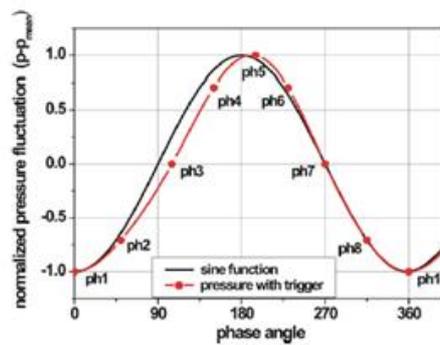
Sesta Lab, come plus, richiede la fornitura di un sistema di sincronizzazione dell'illuminazione/acquisizione sulla frequenza dell'oscillazione della pressione in camera di combustione, misurata da trasduttori dedicati. Il sistema brevemente descritto è un sistema di triggering che, indipendentemente dalla frequenza propria delle sorgenti, inneschi l'emissione degli impulsi laser, sincronizzandola con una stessa e predeterminata serie di punti appartenenti a successivi periodi, non contigui, dell'armonica principale del segnale acustico, campionato con un apposito trasduttore. Più precisamente il passaggio per lo zero dell'onda acustica è stato come segnale d'innescò per un sistema "generatore di ritardo", capace cioè di mantenere inibite le sorgenti laser per un tempo Dt_1 , pari al maggior numero intero di semicicli della pressione incluso nel periodo proprio della sorgente (LIF nel nostro caso). Trascorso il tempo d'inibizione principale Dt_1 , il nuovo cambiamento di segno del segnale microfonico da avvio alla manovra d'innescò, che prevede l'attesa di un ulteriore intervallo Dt_2 , pari a tante frazioni del "semiperiodo acustico" quant'è il numero d'ordine della fase cui il campione deve corrispondere. Si allega la Figura 2 per chiarezza. A titolo esemplificativo, il Fornitore può fare riferimento al paper Meier, W., et al, "Detailed characterization of the dynamics of thermoacoustic pulsations in a lean premixed swirl flame", Combustion and Flame, 150 (2007), pp. 2 – 26. Il sistema di sincronizzazione deve poter essere utilizzabile sia a bassa che ad alta frequenza, quindi anche nell'ipotetica configurazione di misure simultanee PIV + PLIF.



Sesta Lab specifica che il trasduttore di pressione e la catena di acquisizione del relativo segnale non sono oggetto della presente fornitura.



Pressure signal of the plenum with trigger scheme for the pulsed measurements.



Pressure oscillation compared to a pure sine function; the black curve shows a sine function and the red curve displays the pressure signal of the plenum. The markers $ph1$ – $ph8$ indicate the assigned phase angles at which measurements were performed. These were $ph1 = 0^\circ$, $ph2 = 50^\circ$, $ph3 = 105^\circ$, $ph4 = 150^\circ$, $ph5 = 195^\circ$, $ph6 = 230^\circ$, $ph7 = 270^\circ$, and $ph8 = 315^\circ$.

Figura 2: Sincronizzazione dell'illuminazione/acquisizione sulla frequenza dell'oscillazione della pressione in camera di combustione

Sesta Lab richiede infine la fornitura di 4 paia di occhiali opachi alle lunghezze d'onda 532nm e UV e congruenti con le sorgenti laser oggetto della fornitura.



Di seguito, vengono riassunti tutti i componenti che dovranno essere presenti (la lista è semplificativa e certamente non esaustiva per la fornitura dei sistemi "chiavi in mano") per i sistemi PIV e PLIF/termometria. Il fornitore è tenuto a fornire in fase di Gara e per ciascun componente la relativa specifica tecnica o documentazione che ne provi la congruenza con quanto richiesto nella presente Specifica Tecnica.

Sistema PIV		
Articolo	Plus	Qnt
Laser Nd:Yag (o Nd:YLF) a doppia cavità, 5mJ/pulse @5kHz, 13mJ/pulse @1kHz	E > 5mJ/pulse @5kHz E > 13mJ/pulse @1kHz	1
Compensatore dell'intervallo di tempo fra due pulse consecutivi rispetto aspetto al segnale di trigger inviato al Q-switch		1
High Speed Camera, CMOS, 1280 x 800 pixel, 5kHz, 12bit, 64Gb, fast Ethernet, complete di cablaggi e interfacce.	R = 1600 x 1200 pixel (2MP) R > 2048 x 1536 pixel (3MP) > 12bit	2
Obiettivo con lunghezza focale compresa fra $f = 85\text{mm}$ e $f = 105\text{mm}$, almeno F/2.8, manuale	Obiettivo F = 200mm, almeno F/2.8, F-mount, manuale	2



Rail per high speed camera con sistemi manuali di regolazione		1
Sistema di regolazione manuale Scheimpflug, compatibile con le fotocamere fornite	Sistema di regolazione Scheimpflug motorizzato	2
Filtro interferenziale 532nm (o 527 nm)+/- 10nm.		2
Kit calibrazione PIV, 2D e 3D, (piastra) 50x50mm ² con punti uniformemente distanziati a 5mm (distanza centro - centro), con diametro massimo di 1.5mm.		1
Generatore di seeding, operabile nel range [1 -15]bar, 0.25 kg/s	T = 600°C	1
Inseminante TiO ₂ , [0.5-4] μm		5 kg
Inseminante Al ₂ O ₃ , [0.5-4] μm		5 kg
Sistema PLIF/termometria		
Nd:Yag, 10Hz @532nm, durata del pulse non superiore a 10ns. 400mJ/pulse @10Hz	120mJ/pulse @10Hz @355nm (alternativo a 400mJ/pulse @10Hz)	



Dye Laser, 20mJ/pulse @10Hz @283.2nm	E > 20mJ/pulse @10Hz @283.2nm F > 10Hz con almeno 5mJ/pulse @20Hz @ 283.2nm	1+1
Laser shutter		1
Sistema di monitoraggio dell'energia per pulse dal Dye Laser		1
High Speed Camera, CMOS, 1280 x 800 pixel, 30Hz, 12bit, raccomandati 16Gb, fast Ethernet, complete di cablaggi e interfacce.	R = 1600 x 1200 pixel (2MP) R > 2048 x 1536 pixel (3MP) > 12bit	2
Obiettivo UV di lunghezza focale compresa fra $f = 85\text{mm}$ e $f = 105\text{mm}$, almeno F/2.8, trasparente all'UV da almeno 200nm.	Obiettivo UV di lunghezza focale $f = 200\text{mm}$, almeno F/2.8, trasparente all'UV da almeno 200nm	2
Intensificatore di segnale, [200 - 750] nm, min esposizione 10 ns, compatibile con le high speed camere fornite.		2



Filtro trasparente all'UV, con caratteristiche 320nm +/- 20nm, piccato sull'emissione dei radicali OH. Trasmissione > 70%.		1
Filtro con caratteristiche 355nm +/- 5nm. Trasmissione > 80%.		1
Filtro interferenziale con caratteristiche 266nm ed una FWHM +/- 10nm. Trasmissione > 60%		1
Collimatore per Dye Laser per UV		1
Kit con colorante per Dye Laser		1+1 ricarica
	Sistema per creazione lamina luce strutturata per Rayleigh scattering	1
Parti in comune ai due sistemi (PIV + PLIF/termometria) / software		



Rail, holder, ottiche a basso assorbimento sull'UV (da 200nm), ottiche/obiettivi telescopici per creare il foglio laser per l'illuminazione della sezione di prova, tubi laser per il convogliamento del raggio verso il Test Rig, specchi UV, beam splitter (eventuali): per PIV e PLIF		2
Un "beam combiner" (trasparente all'UV)		1
	Supporti meccanici (strutture) per la consegna di fasci laser alla sezione di test	-
Smorzatori laser congruenti con le potenze laser proposte		2°
PC dual processors, numero di core non inferiore a 12, tastiera, mouse, lettore DVD, hard disk da 4 TB, schermo da 24", OS Windows.		2°
Pacchetto GPU (hardware e software) per aumentare la velocità di analisi delle misure PIV		1



Software di controllo, acquisizione e post-processing commerciale (Fornitore proprietario o distributore ufficiale); formato BMP, JPG, TIF, Tecplot, DAT, TXT, PS, AVI. Il software dovrà svolgere operazioni di calibrazione, riduzione della distorsione, mascheratura, image post-processing per PIV e PLIF/termometria Rayleigh.		2°
Modulo software per PIV		1*
Modulo software per PIV 3D		1*
Modulo software per PLIF		1*
Modulo per la correzione e la calibrazione del beam laser		1*
Aggiornamenti life time per i pacchetti software richiesti + aggiornamento del software con nuove releases entro 5 anni		1
Sincronizzatore per PIV e PLIF, fino a 5 kHz		1
Sincronizzatore per PLIF e Termometria		1°
	Trigger sull'armonica della pressione di combustione, acquisita durante il test	1



Tavolo ottico 1500mmx1800mmx200mm (con smorzatori)		1
Occhiali opachi al 532nm e all'UV		4

*= se non già incluso di default nella fornitura

°= da motivare per il Fornitore. Eventualmente è possibile anche la fornitura di un solo componente, previa approvazione da parte di Co.Svi.G. Sesta Lab.

Le descrizioni riportate nella presente specifica hanno valore esplicativo e non limitativo, pertanto deve intendersi compreso, anche se non espressamente indicato, tutto quanto è necessario per la fornitura di due sistemi PIV e PLIF/termometria Rayleigh pienamente funzionanti e "chiavi in mano" per Sesta Lab, sulla base del disegno fornito della Cella di prova all'interno della quale saranno installati i sistemi laser, allegato alla presente specifica tecnica.

Sesta Lab richiede che il Fornitore, prima della consegna dei sistemi, svolga presso i suoi uffici e alla presenza di tecnici di Sesta Lab la verifica dei componenti e il commissioning dei sistemi completi da consegnare, comprendente:

- Ispezione dei componenti
- Test dei singoli componenti
- Setup dei sistemi PIV e PLIF/termometria completi
- Test Run dei sistemi PIV e PLIF/termometria completi
- Verifica delle performances

Sesta Lab richiede che il Fornitore esegua un commissioning dei sistemi PIV e PLIF/termometria completi, presso Sesta Lab o presso altro luogo sul territorio italiano che Sesta Lab indicherà. Sesta Lab richiede anche un addestramento sui sistemi in ordine. Per le attività di commissioning e di



training Sesta Lab richiede che il Fornitore consideri 10 giorni lavorativi di tempo, includendo tutte le spese di viaggio, vitto e alloggio necessarie. Il Fornitore dovrà dare disponibilità all'esecuzione del commissioning a tutto l'anno 2018.

Qualora Sesta Lab pianifichi il commissioning a più di 3 mesi dalla consegna della fornitura, Sesta Lab richiede che il Fornitore proponga una procedura per il mantenimento dei componenti, al fine di preservarne la qualità e la garanzia.

Sesta Lab richiede inoltre che due unità del proprio personale possano essere formate presso la casa madre del Fornitore con corsi/seminari sulle tecniche PIV e PLIF.

Sesta Lab richiede inoltre di avere un canale diretto di assistenza con il Fornitore per eventuali problemi che dovessero insorgere durante le fasi di montaggio/allineamento/esercizio del sistema PIV. Il/i nominativi dovranno essere specificati in fase di gara e saranno il diretto canale di post-vendita fra Sesta Lab ed il Fornitore.

4. Tolleranze

I valori riportati nel presente documento, devono essere considerati con una tolleranza entro il +/- 10% rispetto al valore nominale. Componenti eccedenti la tolleranza non saranno accettati da Sesta Lab. Fanno eccezione le seguenti grandezze:

- Frequenza di campionamento dei laser: +/- 5%.
- Frequenza di acquisizione delle fotocamere: +/- 5%.
- Memoria fisica delle fotocamere per PIV: +/- 15%.
- Memoria fisica delle fotocamere per PLIF/termometria: +/- 25% (o il valore più prossimo a quanto richiesto in specifica, individuabile sul mercato).
- Attenuazione del fascio laser dalla sorgente al Rig: come prescritto in specifica.



5. Imballo e trasporto

L'ordine si intende porto franco quindi comprendente il trasporto ed il deposito di tutti i componenti presso Sesta Lab, compreso lo scarico a terra e l'imballo idoneo per trasporto. Sesta Lab si riserva di comunicare un luogo diverso per la consegna della merce. Il luogo di consegna alternativo sarà comunque sul territorio della Repubblica Italiana, ad esclusione delle isole

6. Controlli

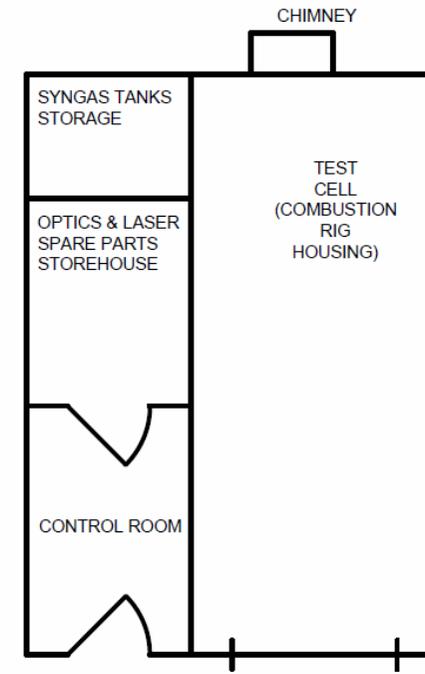
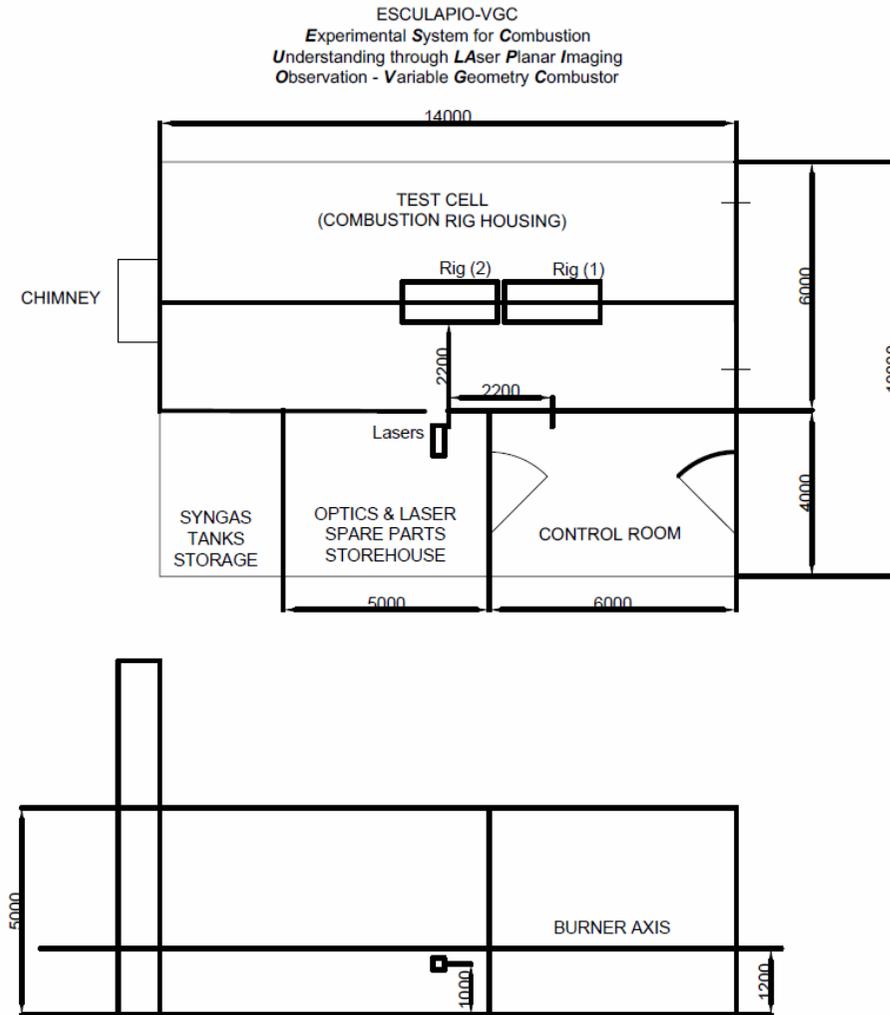
Co.Svi.G. Sesta Lab si riserva di presenziare, tramite i suoi incaricati, alle varie fasi di controllo sui singoli componenti e al commissioning degli interi sistemi laser presso gli uffici del Fornitore e prima della loro spedizione.

7. Garanzia

Il Fornitore dovrà sostituire o riparare gratuitamente quelle parti che dovessero rivelarsi difettate, non conformi o danneggiate nel periodo di vigenza della garanzia precisato nei documenti contrattuali, per cause non imputabili a Co.Svi.G. Sesta Lab.

L'intera fornitura sarà garantita per 24 mesi dalla data di consegna dei sistemi laser (sistemi completi) presso Sesta Lab o dove Sesta Lab indicherà (territorio della Repubblica Italiana).





ESCULAPIO-VGC
Experimental System for Combustion
Understanding through **LA**ser Planar Imaging
Observation - Variable Geometry Combustor

Sketch della Test Cell 3