



Sviluppo e qualificazione di processi di saldatura Laser e Fascio elettronico

C.R. ENEA Casaccia - Roma

Dipartimento: Sostenibilità Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione: Tecnologie e Processi di Materiali per la Sostenibilità
Laboratorio: Materiali e Processi Chimico Fisici

Relatore: Massimo Moncada
e-mail massimo.moncada@enea.it
Tel. 06 3048 6808
Mobile 333 2206009

Roma 29 Ottobre 2015

- Saldatura al Fascio Elettronico

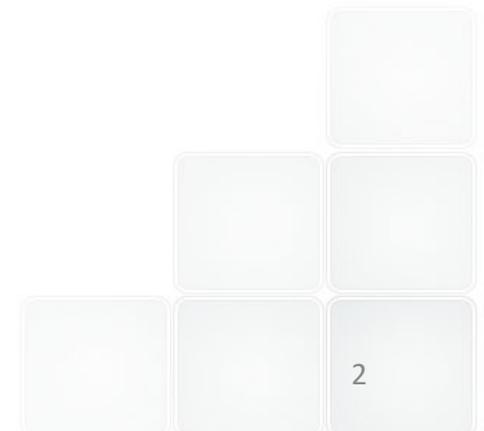
Casi Studio

- Saldatura Laser e Laser arco

Casi studio

- Confronto e complementarità

- Conclusioni



Saldatura al Fascio Elettronico

Vantaggi

- ◆ Alta densità di energia (superiore a 10^7W/cm^2)
- ◆ Alto rapporto di forma profondità/larghezza maggiore di 10 (t_{max} 60-80 mm)
- ◆ Basse deformazioni & piccole ZF and ZTA;
- ◆ Alta produttività;
- ◆ Alta frequenza di oscillazione del fascio;

Svantaggi

- ◆ Alti costi dell'impianto (maggiore del Laser)
- ◆ Necessità di spigoli fresati;
- ◆ Alto costo dell'attrezzatura di serraggio;
- ◆ Necessità di vuoto nella camera di saldatura
- ◆ Basso gap di accoppiamento



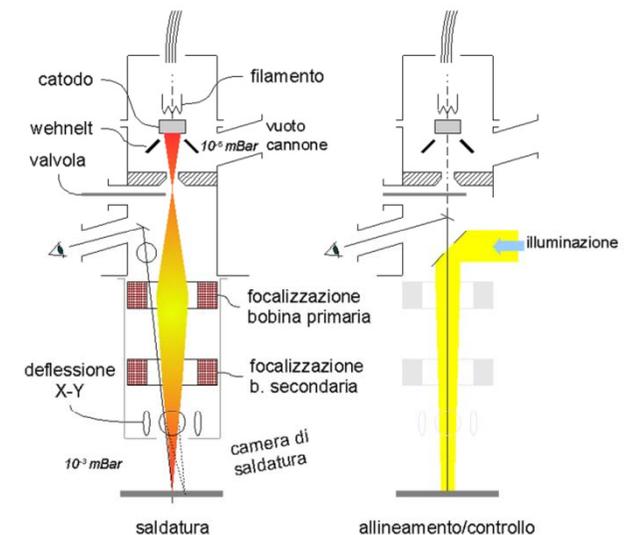
EBW CASACCIA Alci-Techmeta

• Power/T.A.
50kW/80kV

• Chamber volume
1x1x1.3 m³

• Movement X,Y, α

• Feed range
V_{x,y}: 0.1 - 4 m/min
V _{α} : 0.1 - 15 rpm



Applicazioni al Fascio elettronico



- Saldatura di pannelli AFS (schiuma in lega di Al)



- saldatura di contatti a radiofrequenza per CERN (LHC)

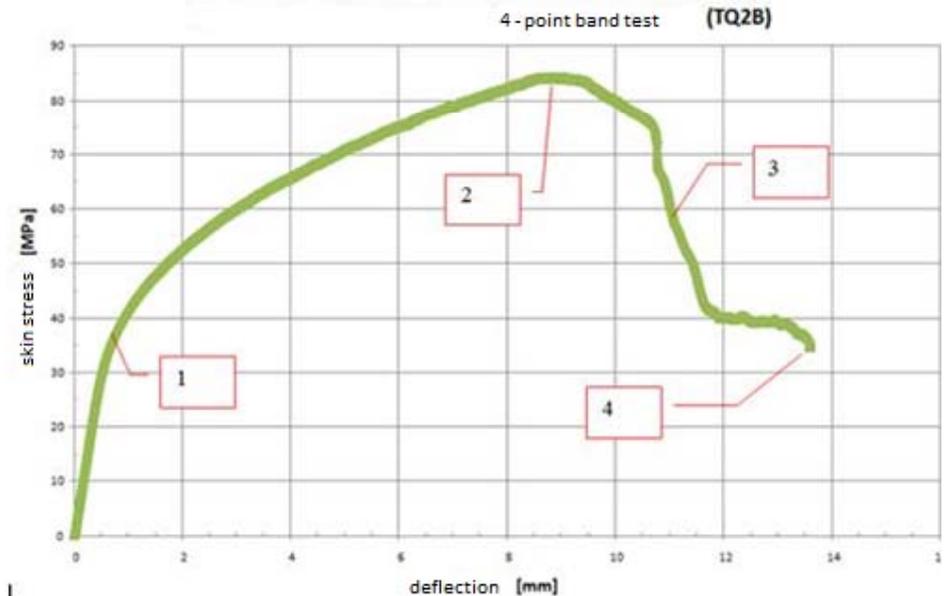
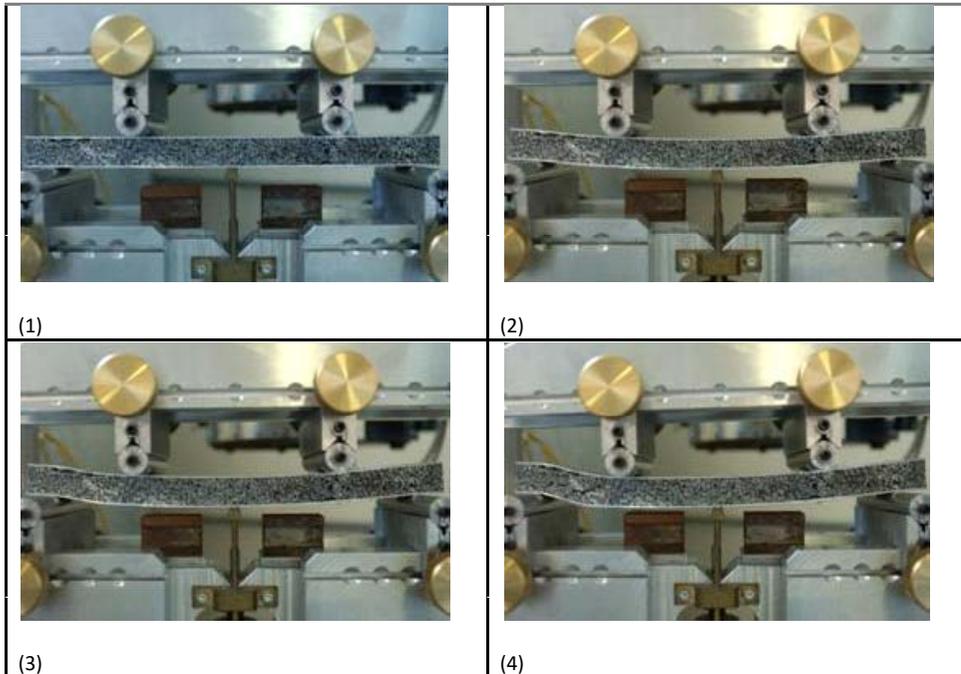
- saldatura di un *cold plate* per applicazioni aerospaziali (ALENIA per ESA)



Saldatura di pannelli AFS e loro caratterizzazione

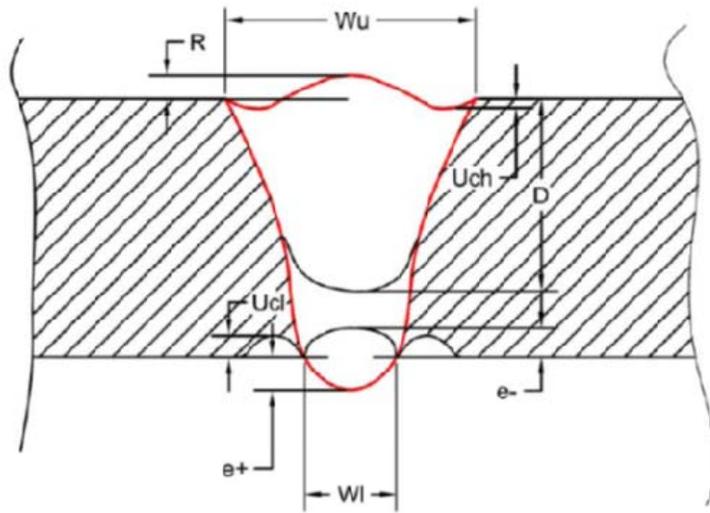


ID	RX Analysis	Ultrasound Analysis
AFS TQ1		
AFS TQ2		

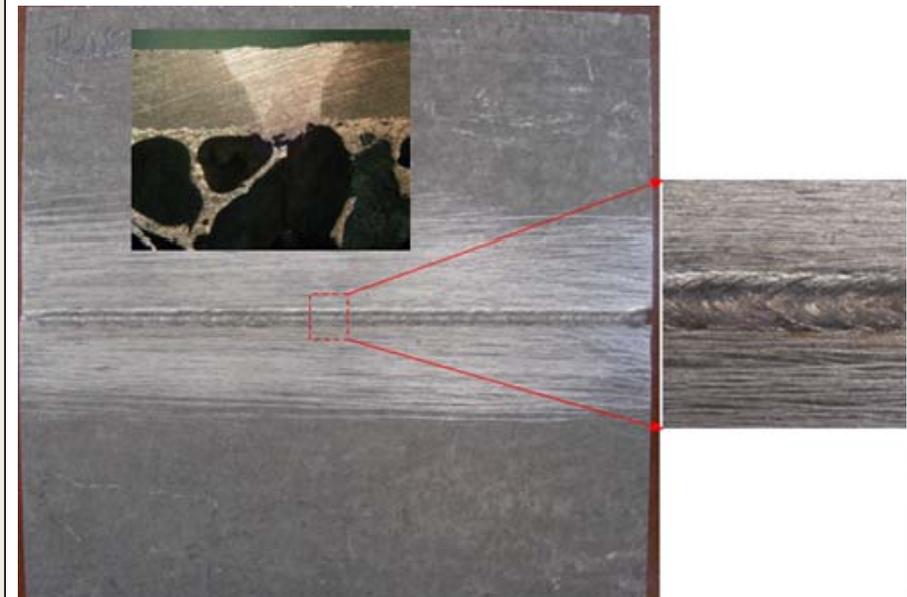
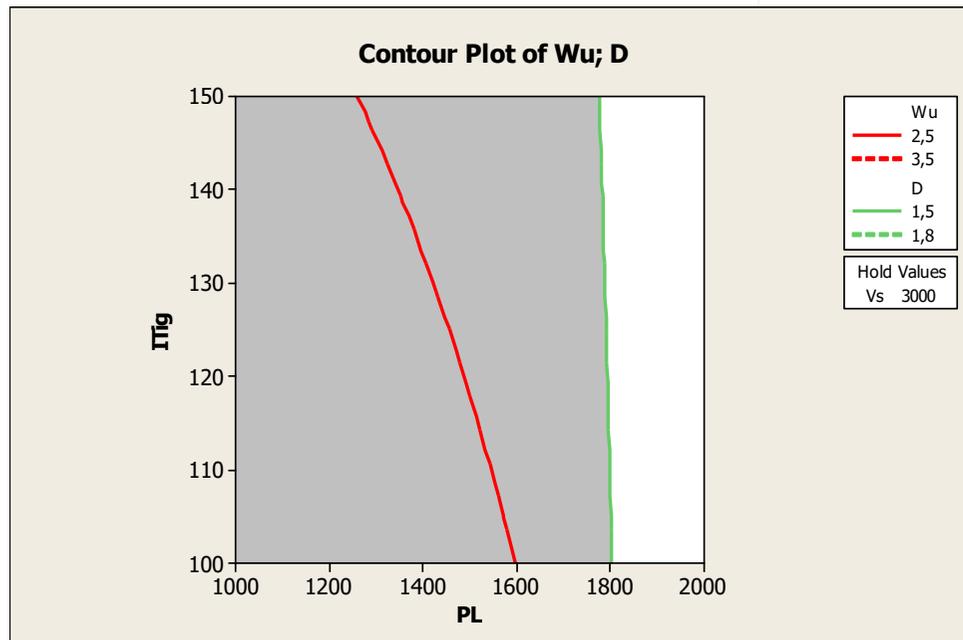
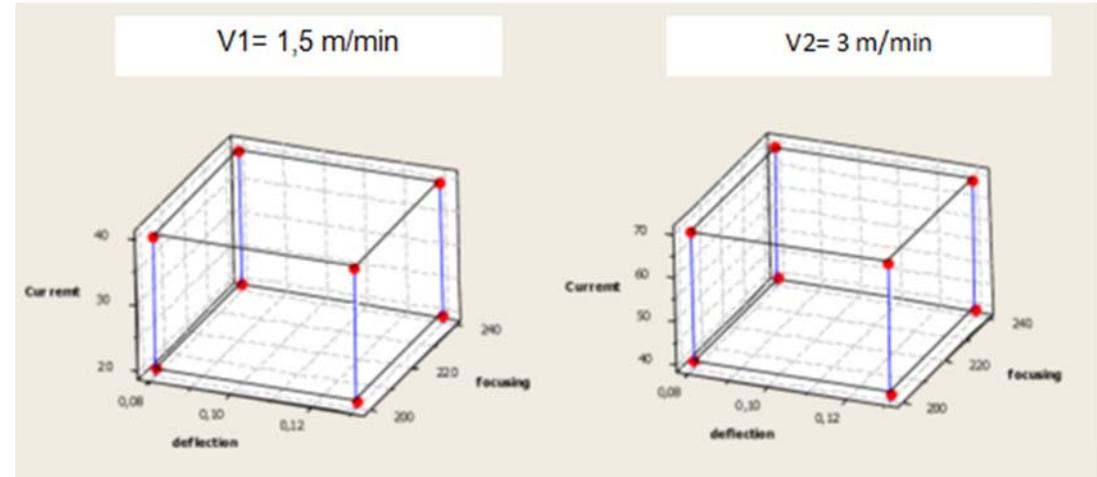


Individuazione dei parametri di saldatura

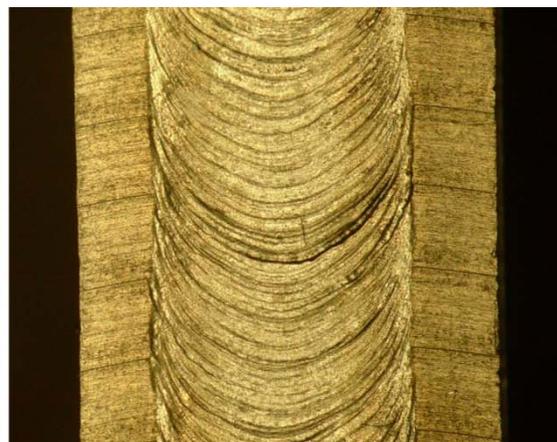
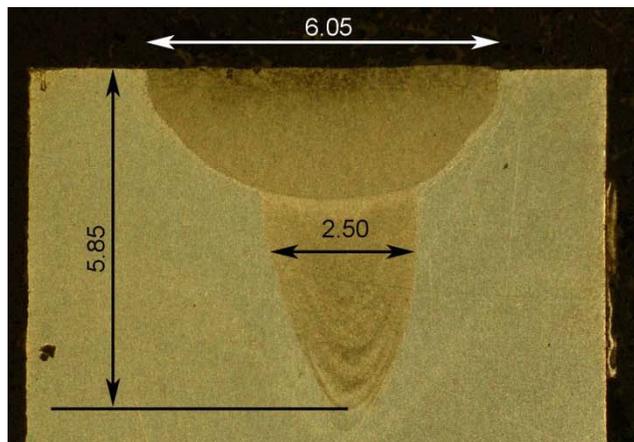
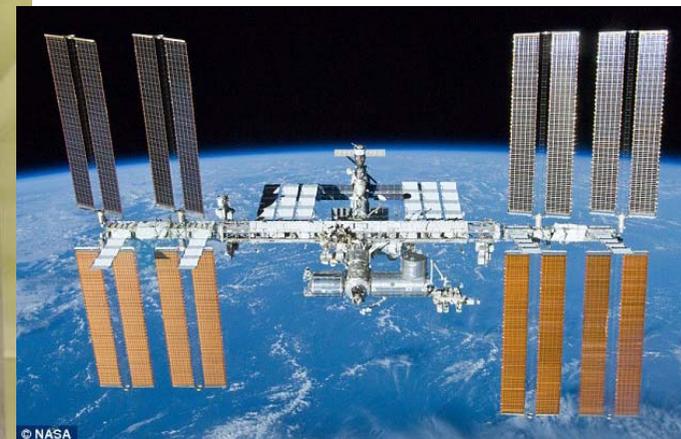
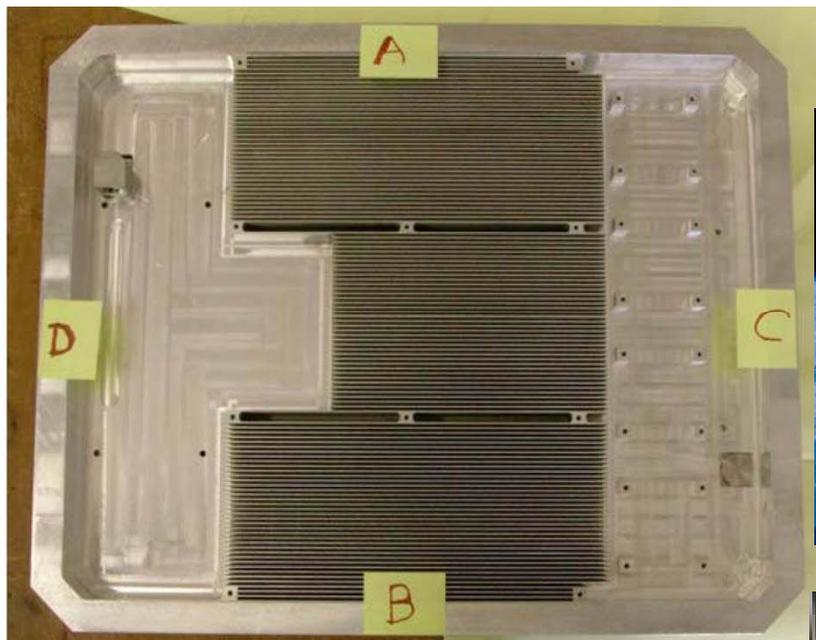
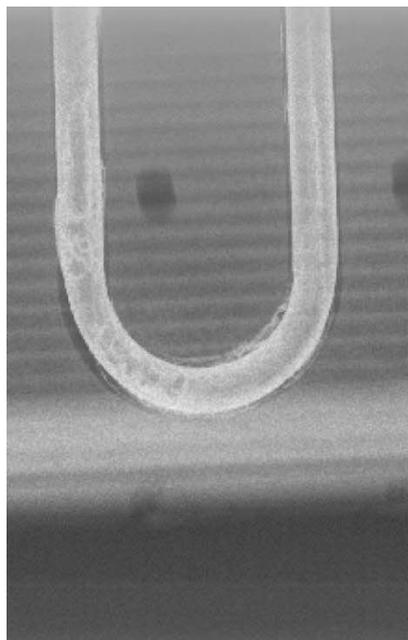
Variabili di risposta del cordone di saldatura



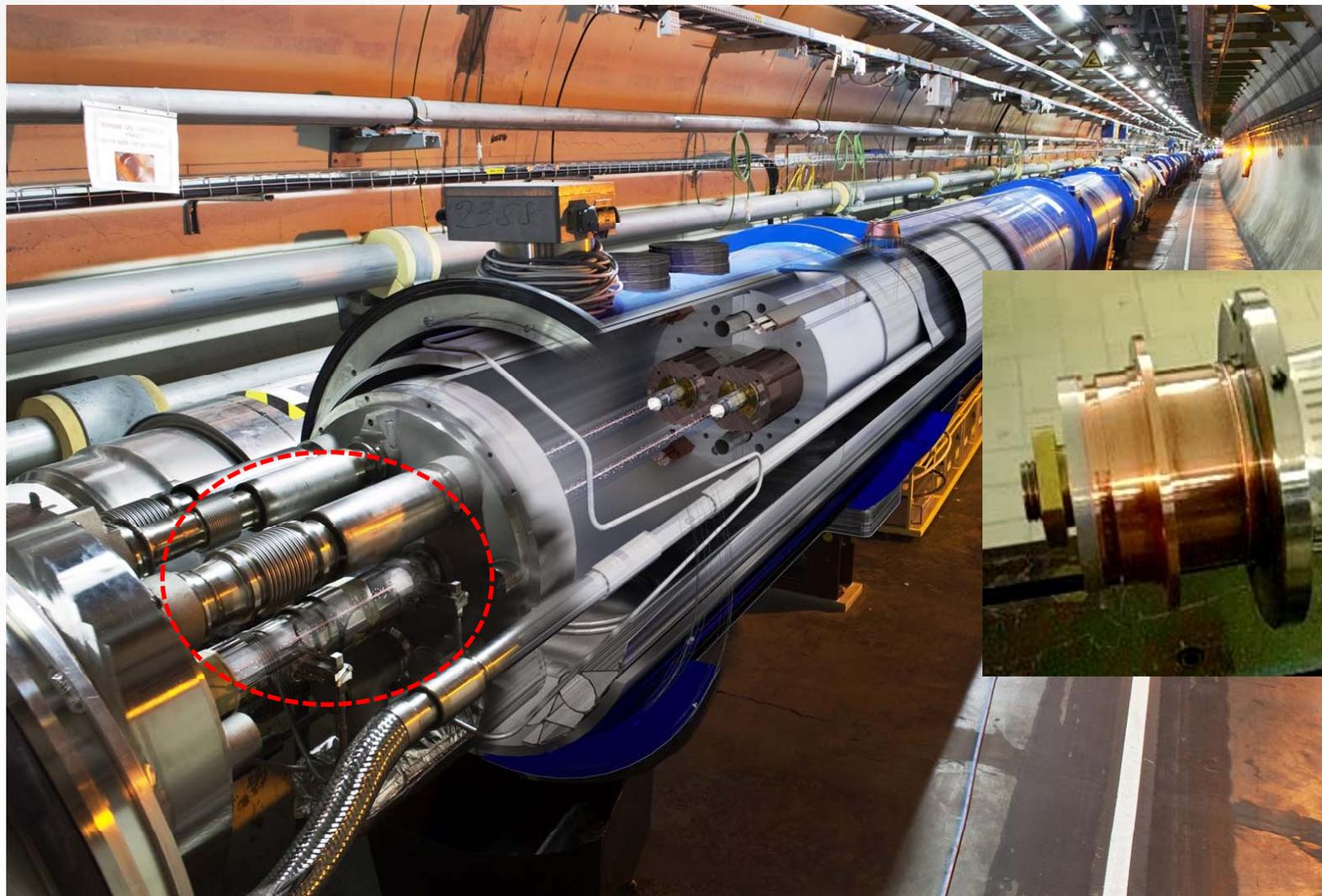
2 Piani sperimentali a tre fattori e due livelli



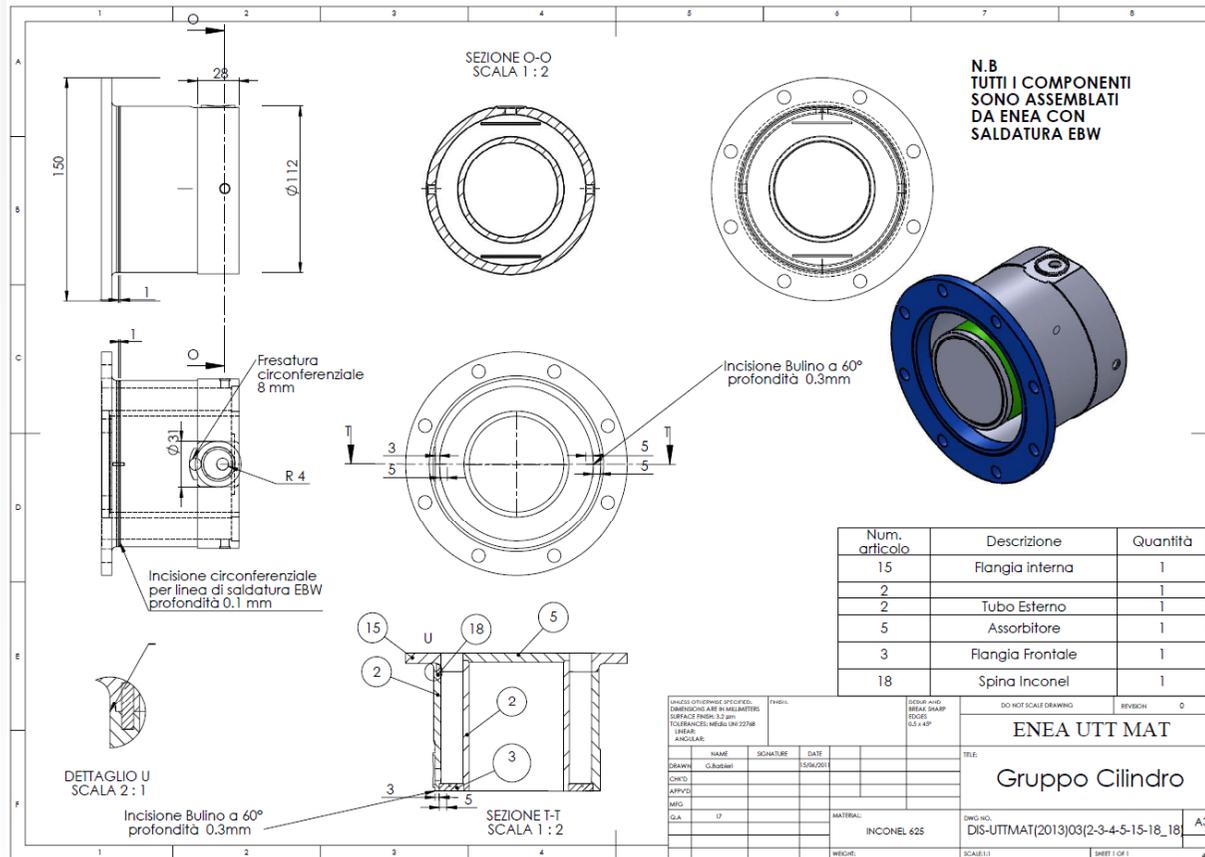
Saldatura di un Cold Plate per applicazioni aerospaziali (Thales ALENIA per ESA)



Contatti a Radiofrequenza per LHC



Componente di un reattore solare (ricevitore)



☐ saldatura di un componente in Inconel 625

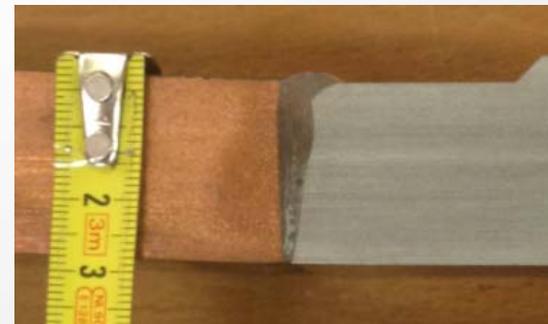


Altri esempi di saldatura al Fascio elettronico



Esempi di
saldatura su grossi
spessori
(>100mm)
di acciaio

Acciaio inox con Acciaio non legato



Saldatura rame e Acciaio Inox
(spessore 30 mm)



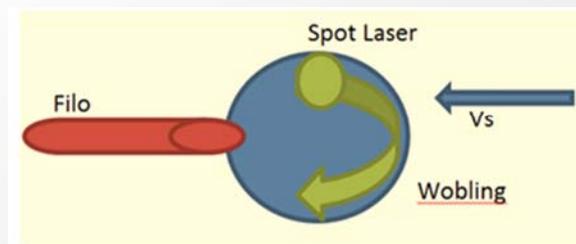
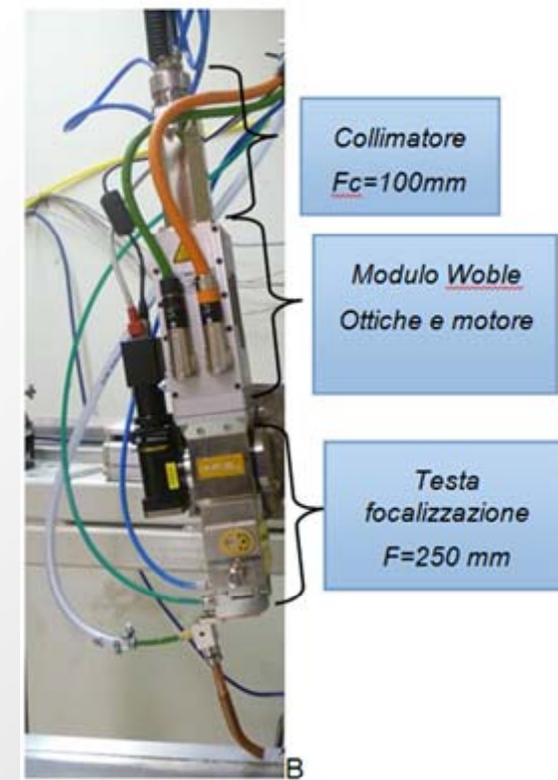
Saldatura Laser

P= 2300 W YLS 2000, (predisposto per 4000W);

Fiber = 100 micron

Lunghezza d'onda emissione laser = 1070 nm

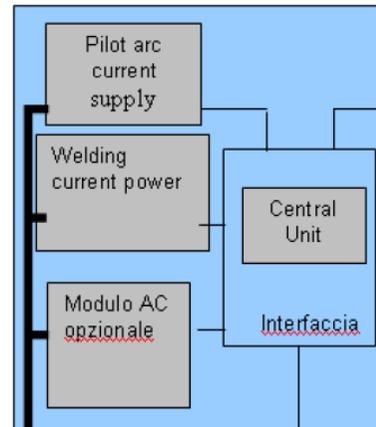
Wobble module : up to 300 Hz, adjustable Wobbling diameter



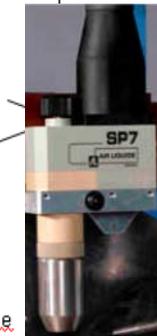
Saldatura al TIG & Plasma



GENERATORE DI SALDATURA



Pannello di controllo saldatura



Controllo tensione d'arco

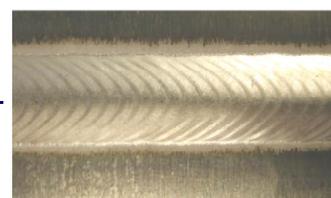
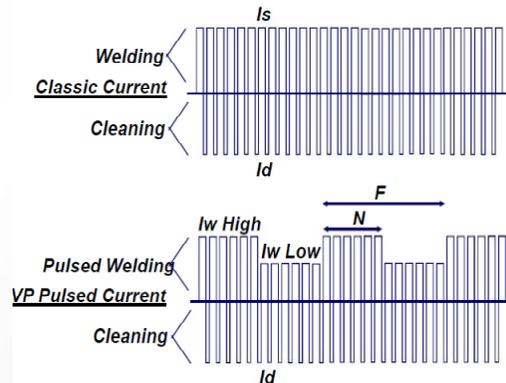
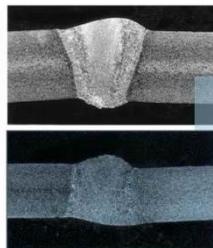
Cavi di comando

Apporto di filo

Cavi di potenza

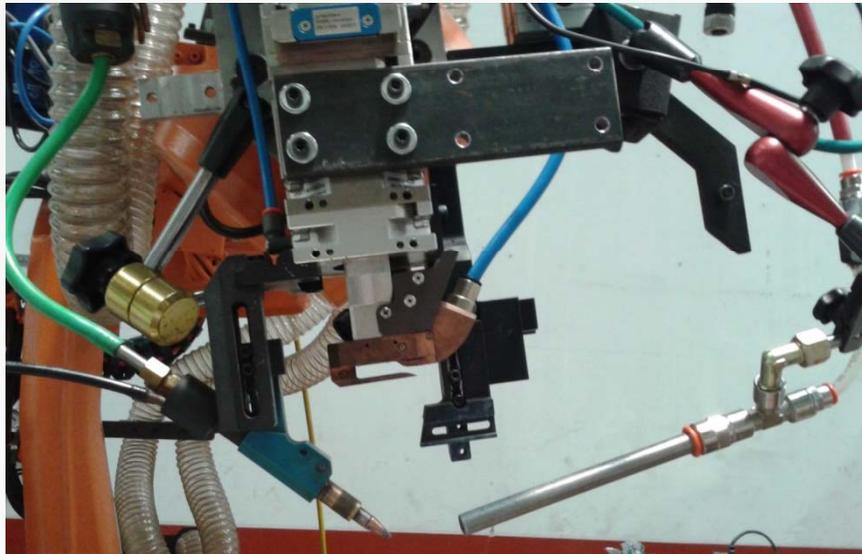
Connessione torcia / HF

Torcia

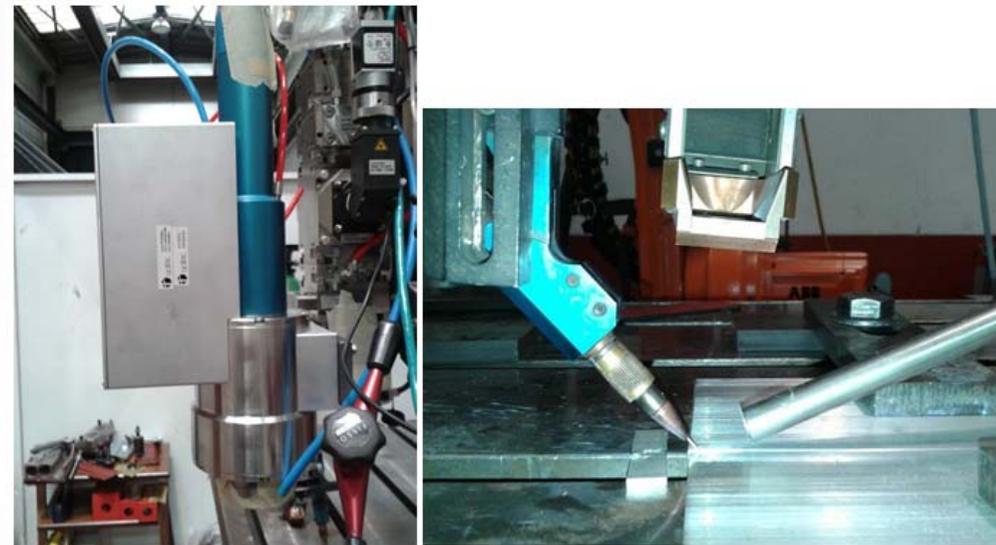


Saldatura Laser di leghe di Al

Configurazione Laser

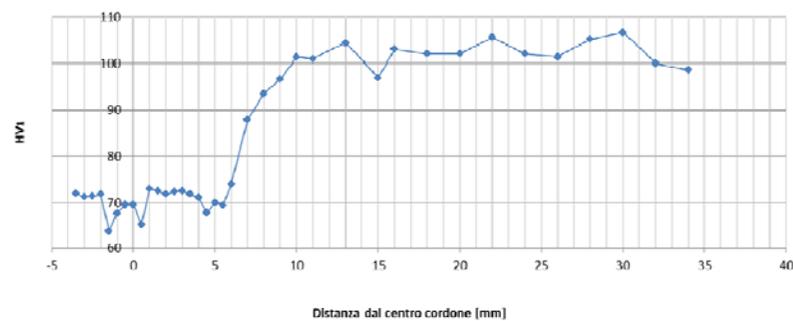


Laser -Wobbling

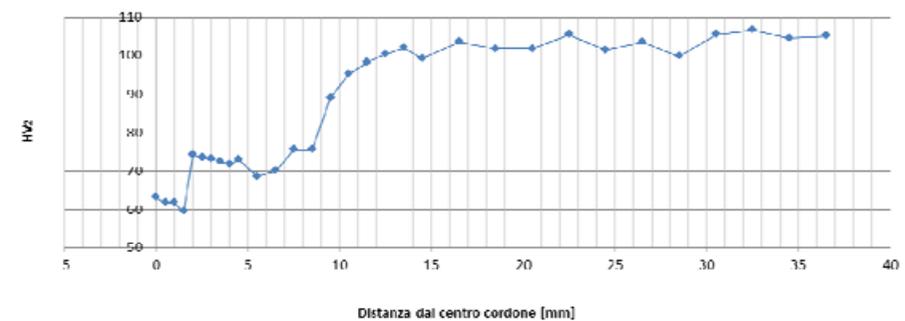


C8

Campione C8

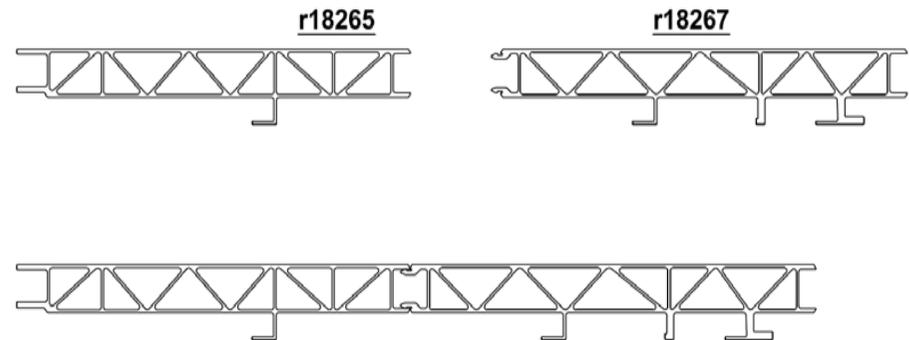
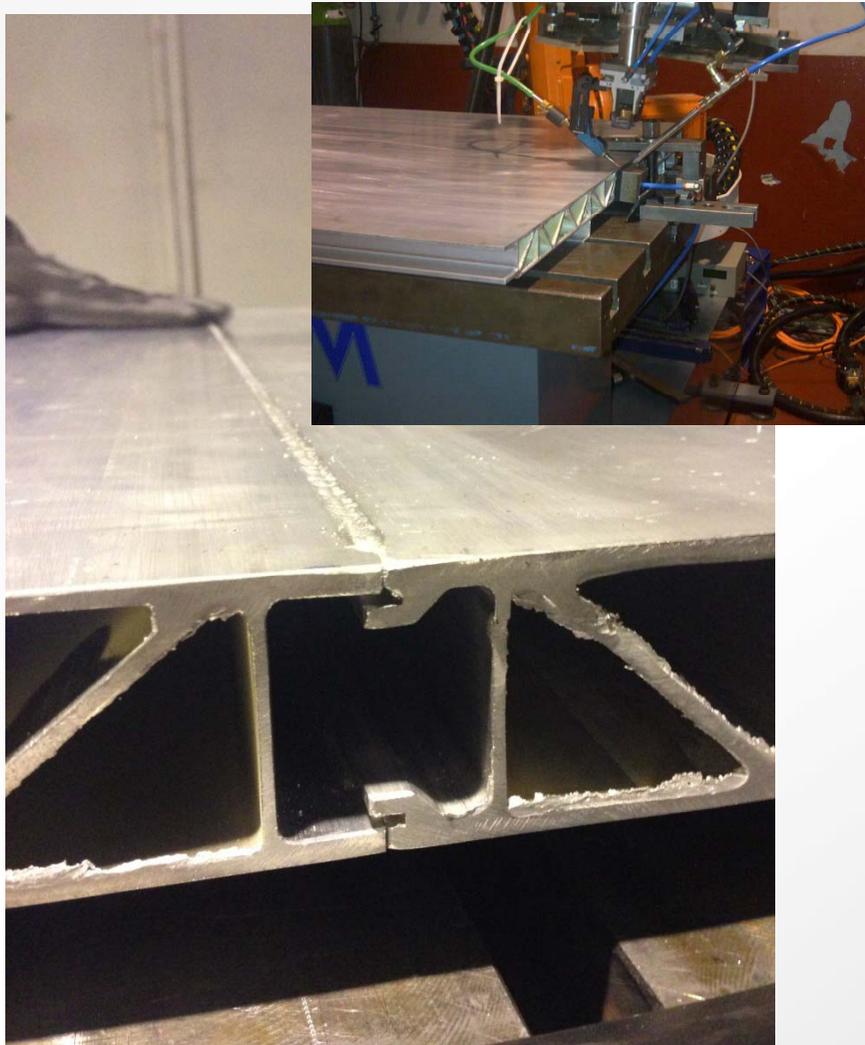


Campione W11b



RISULTATI: ferroviario

ESTRUSI METRA AA6005A PER SIEMENS TRANSPORTATION

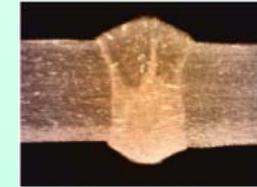


OLTRE ALLE NORME CITATE IN LETTERATURA IL CLIENTE FINALE IMPONE L'UTILIZZO DI UNA PROPRIA SPECIFICA:

“Project Specific Requirements and Tests to ensure the Weldability of Al Profiles – ed. 2013”

Saldatura di pannelli in lega di alluminio

- ◆ Saldatura testa a testa di piastre in AA6082 T6 spessore $t=3$ mm;
- ◆ Saldatura testa a testa di piastre in AA 6083 T6 → Profilati AA6060 $t=3$ mm;

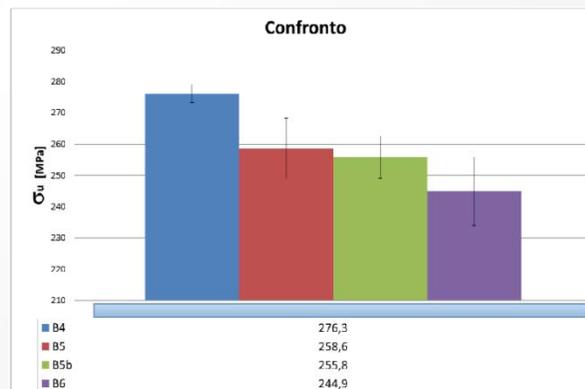
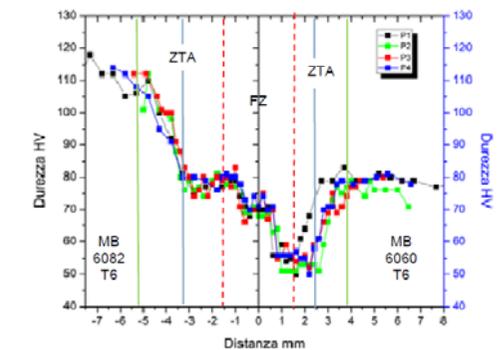
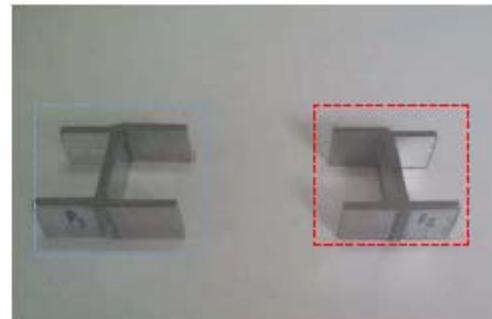
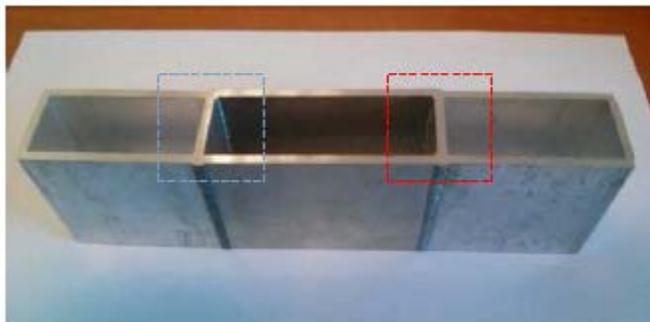


Tailor Welded Blanks (in progress):

Butt Joint AA 6082 T6 ($t=3$ mm) → AA5754 ($t=1,5$ mm) Con e senza Filo AA 5356

Butt Joint AA 6082 T6 ($t=2$ mm) → AA5754 ($t=1,5$ mm) Con e senza Filo AA 5356

Lap Joint AA5754 ($t=1,5$ mm) → AA 6082 T6 ($t=2$ mm) Con e senza Filo AA 5356

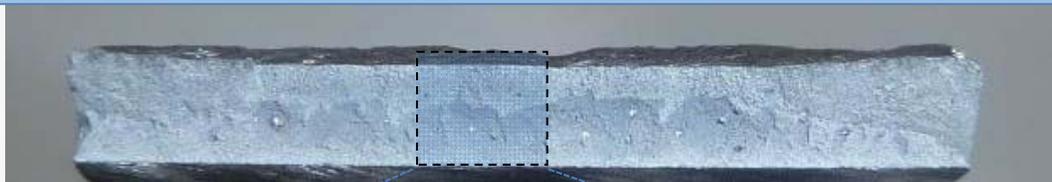


Legna	RINA	DNV		EUROCODICE9		
	R_m Weld	$R_{p0.2}$ haz	R_m Weld	$f_{0,haz}$ 0,2 %	$f_{u,haz}$	f_w / M_w
AA 6082 T6	165	115	175	125	185	168

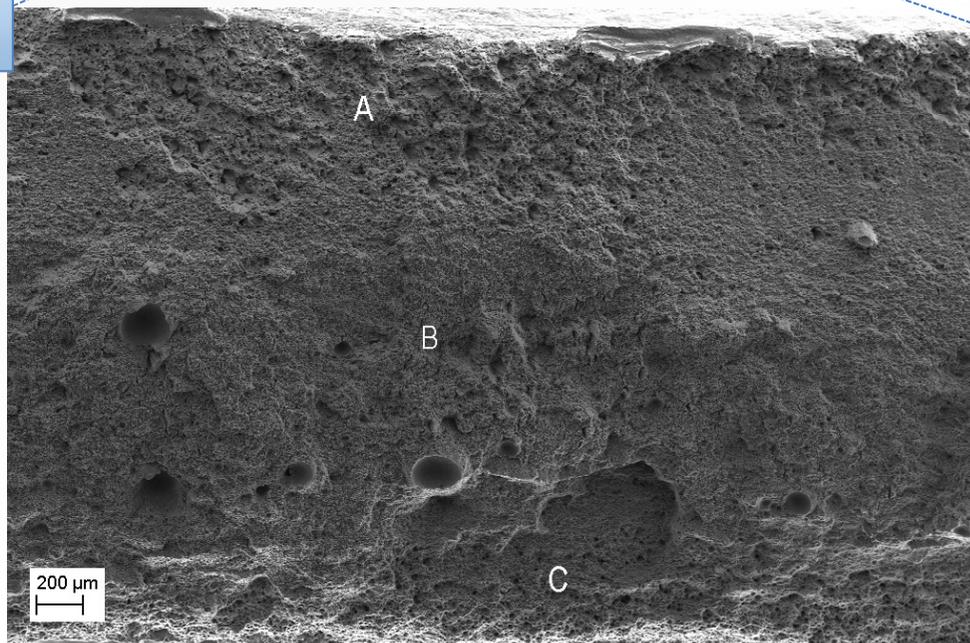
Target tipo di lega

Analisi SEM delle sezioni trasversali dei campioni trazionati (Frattografia)

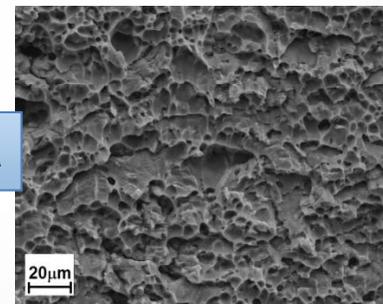
Optical image of fracture surface of transversal tensile test.



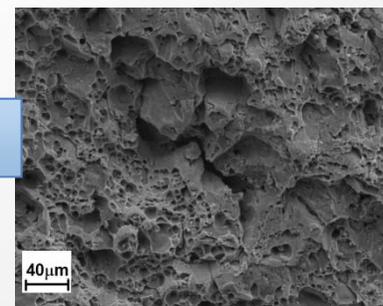
SEM



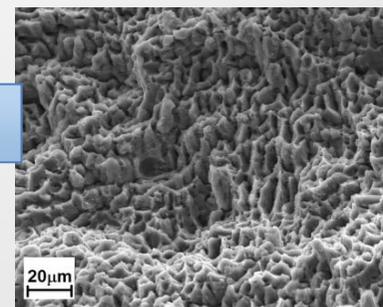
A



B



C

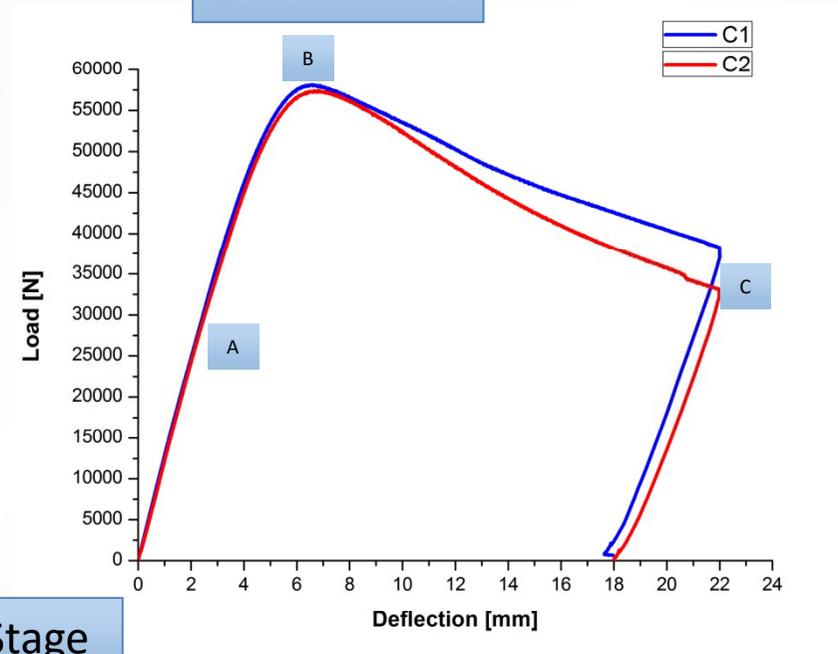


Prove di flessione su 4 punti di pannelli saldati

Tests Geometry



Load Profiles



A



Elastic Stage

B



Maximum Load

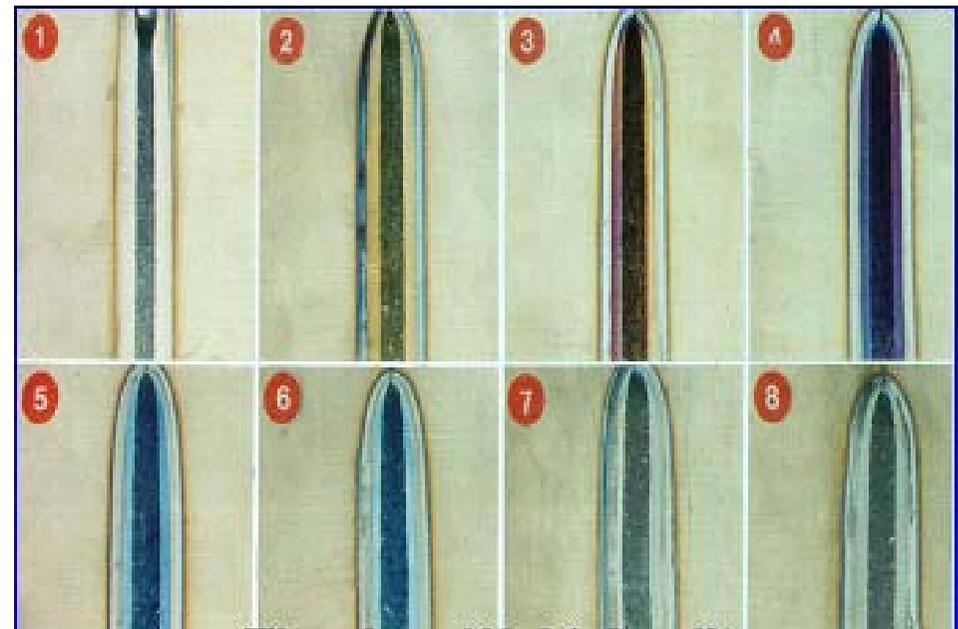
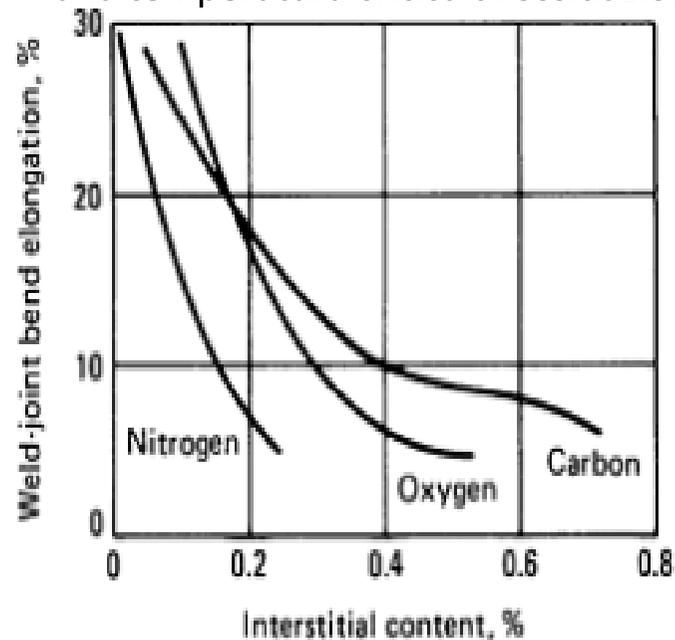
C



Final Deformation

Saldatura Laser di leghe di Titanio

- La saldatura di leghe metalliche particolarmente reattive agli agenti atmosferici (O_2 e N_2) impone la necessità di utilizzare sistemi di protezione della zona di saldatura che vanno oltre il bagno di fusione e coprano anche quella porzione di materiale risolidificato che è ancora ad una temperatura critica di ossidazione/nitrurazione che varia fra i 200 ed i 400 °C.



Una delle indicazioni base sul livello di contaminazione è il colore del cordone di saldatura.

argento brillante : ottimale, denota assenza di contaminazione;
leggermente dorato: corrisponde a una leggera contaminazione;
colore blu brillante: indica una maggiore ossidazione;
colorazioni opache: indicano una contaminazione profonda.



Applicazioni del pattino ENEA-CALEF

(brev. RM2011A000189)



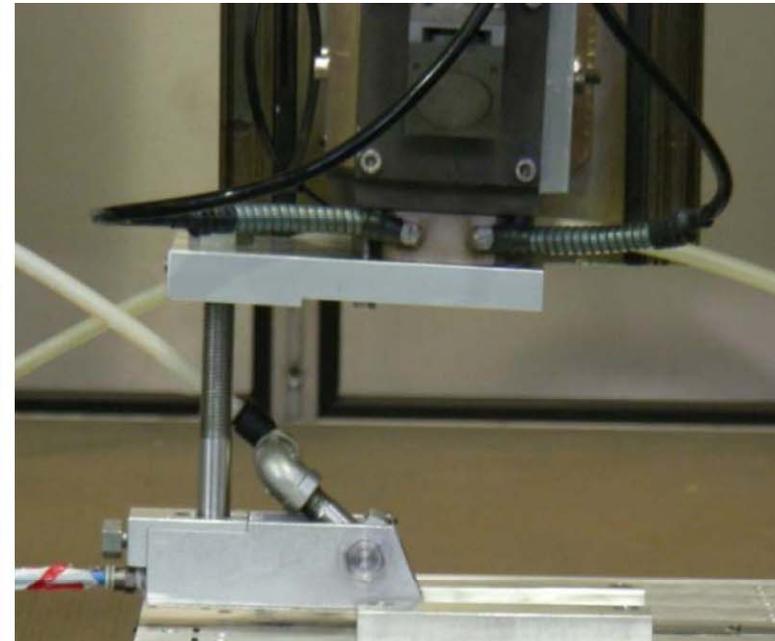
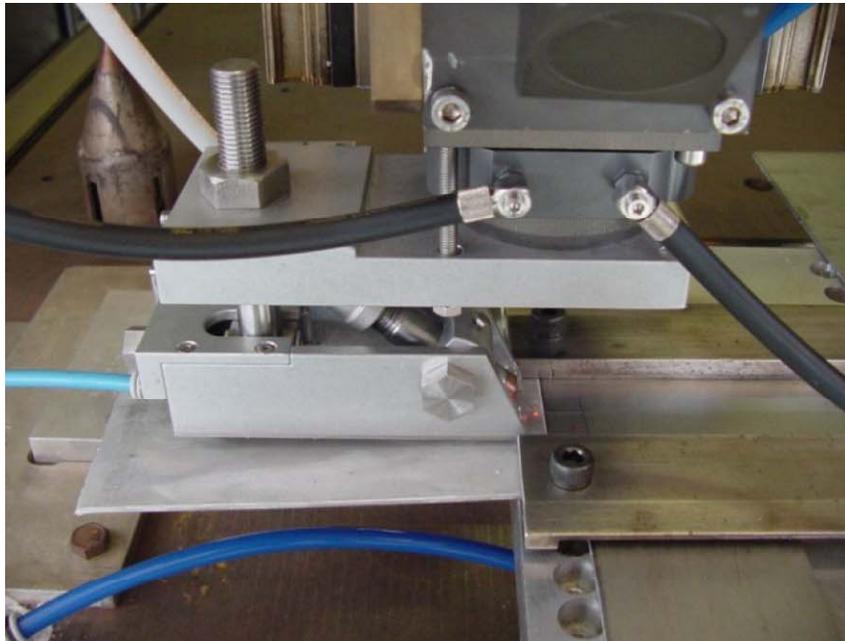
Materiali e condizioni entro cui il pattino è stato testato:

Materiali testati con sorgente ND-YAG Trumpf H2006 D potenza nominale 2 kW

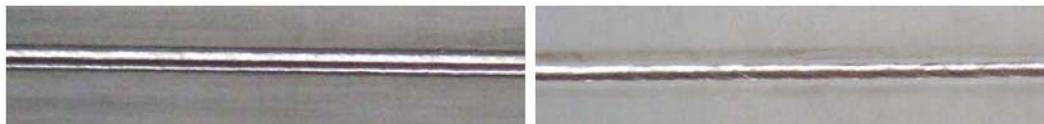
Ti Gr2: Butt Joint e lap Joint, spessori 1- 1,5 mm, range di velocità da 1 a 10 m/min;

Ti Gr5 (Ti 6Al4V): Butt Joint, spessore 3 mm, range di velocità da 0,75 a 2 m/min;

NiTinol: Butt joint, spessori 0.5-0,75- 1 mm, range di velocità da 2,4 a 4,8 m/min;



SX lente f=100 mm diametro spot focale 300 micron; **DX** lente f= 150 mm diametro spot focale 450 micron;



SX aspetto tipico al dritto;
DX aspetto tipico al rovescio;
GAP 3 mm; a 40°

La lega Ti Gr2 non ha mostrato particolari problematiche in termini di formazione di porosità e mostra incisioni marginali ridotte.

Applicazioni del pattino ENEA-CALEF



Saldatura di testa di materiali speciali: NITINOL a comportamento super elastico



Saldatura di spessori sottili $t=0,75\text{mm}$ Nitinol; $P= 850\text{W}$; $v= 2,4 \text{ m/min}$;

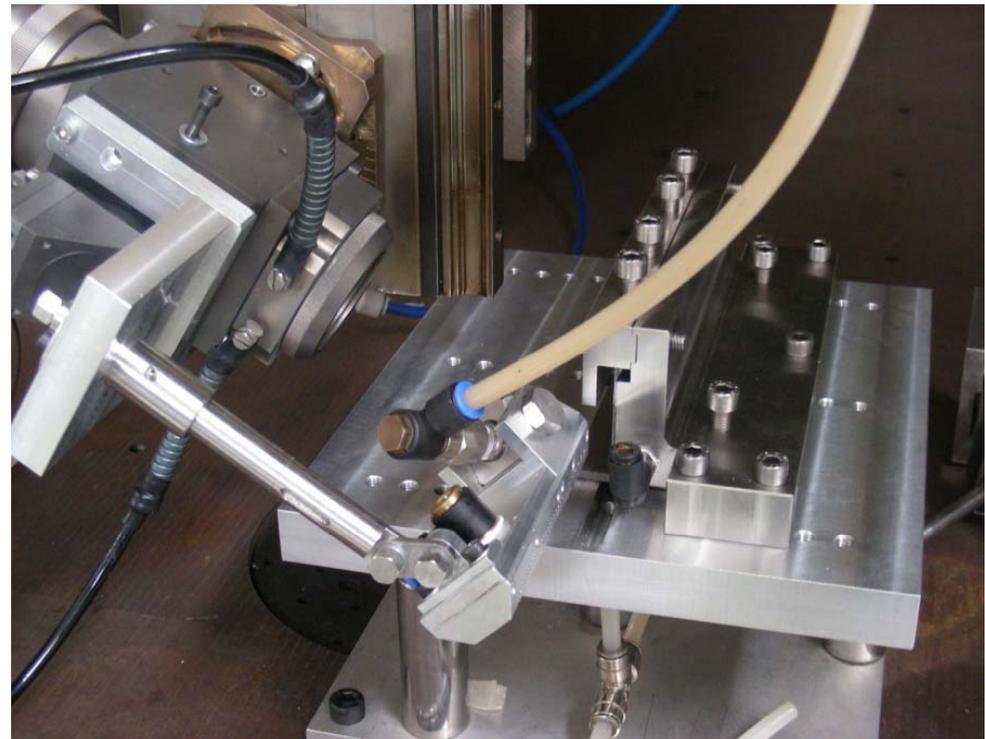
La saldatura presenta sia al dritto che al rovescio un colore argenteo, ad indicare assenza di contaminazione atmosferica; la sezione macrografica non mostra alcun difetto, la forma del cordone è tipica per questo materiale

Scarpetta per giunti a «T»

(brev. RM2010A000347)



Pattino di saldatura
assemblato per l'installazione
su ottica BEO 70 e focale
150mm



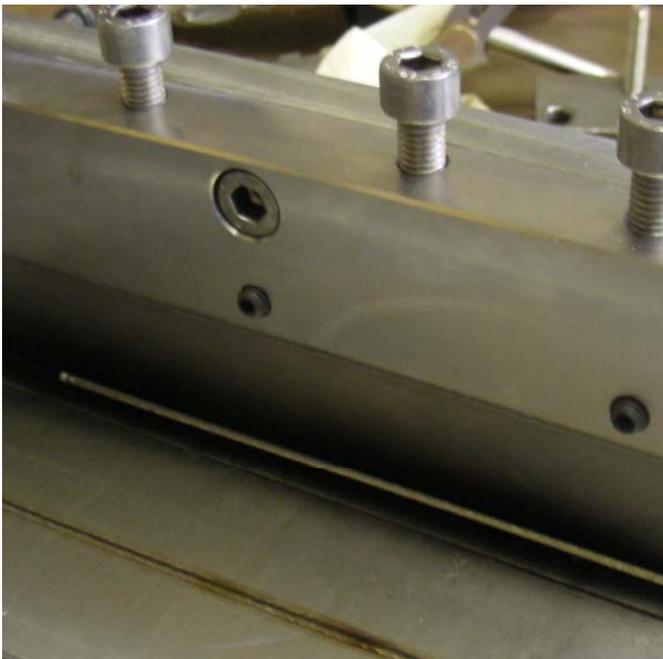
Saldatura Laser con focale 150 mm su lamiere di
titanio Gr 5 spessore 3 mm – Giunti a T



Saldatura di giunti a T: t=3mm Ti Gr5



La saldatura superficialmente è priva di colorazioni ad indicare assenza di contaminazione atmosferica; la Sezione macrografica mostra una saldatura con doppia passata contrapposta con radici sovrapposte ben raccordata al dritto con una leggera concavità.



A sinistra l'aspetto superficiale che indica assenza di contaminazione atmosferica; a destra la sezione macrografica di un giunto realizzato con l'apparecchiatura sviluppata

Applicazioni OPEN AIR per il settore Aerospaziale



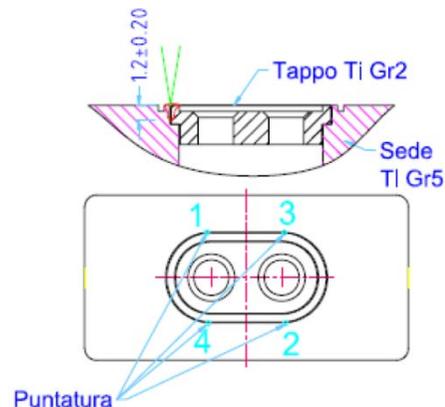
Un differente approccio è stato invece utilizzato per la saldatura di componenti aerospaziali di piccole dimensioni e per i quali erano richieste specifiche particolari da parte del committente.

Le specifiche richieste prevedevano la realizzazione di una saldatura che permettesse:

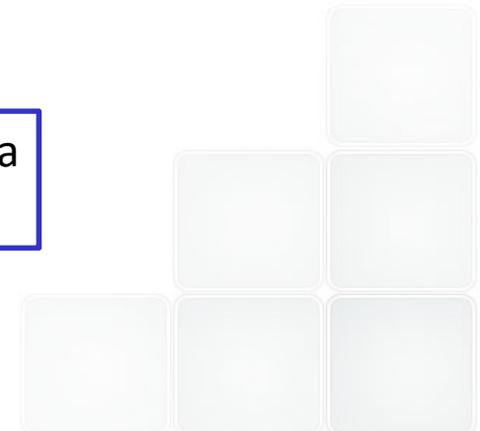
- adeguata tenuta all'elio;
- una sezione resistente in grado di garantire la resistenza a pressione di 130 bar;
- una temperatura massima indotta dalla saldatura sul sensore inferiore a 180°C.

La saldatura può essere assimilata a un "butt joint" del coperchio del sensore lungo un percorso ad asola il cui raggio è di 7 mm circa e la cui lunghezza complessiva circa 35 mm.

E' Stata realizzata un'attrezzatura a letto fluido con protezione statica della zona di saldatura.



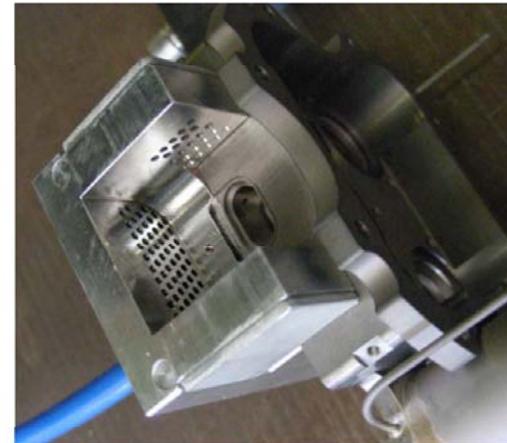
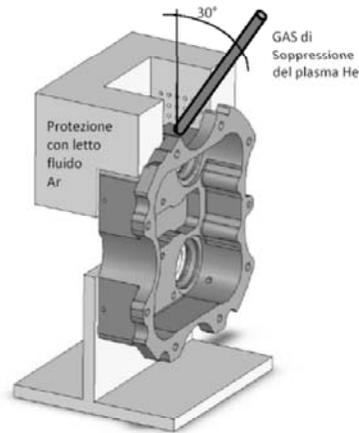
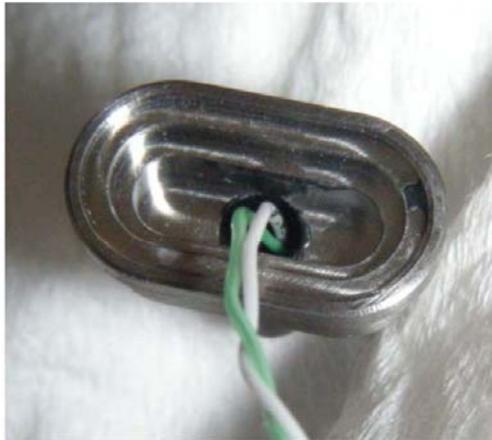
Schematizzazione della saldatura



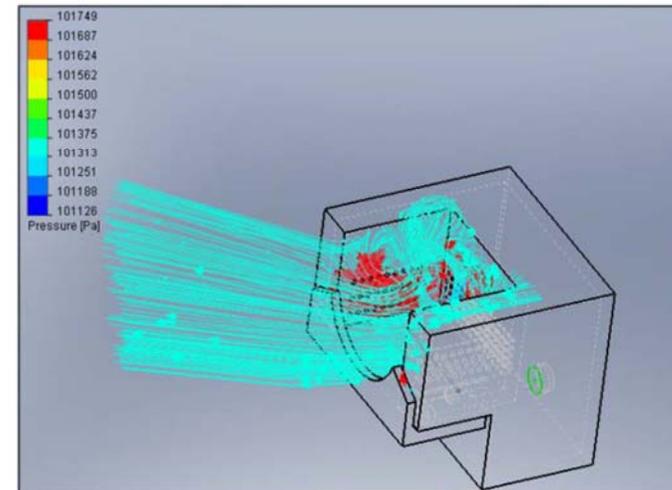
Applicazioni OPEN AIR per il settore Aerospaziale



Aspetto componenti saldati

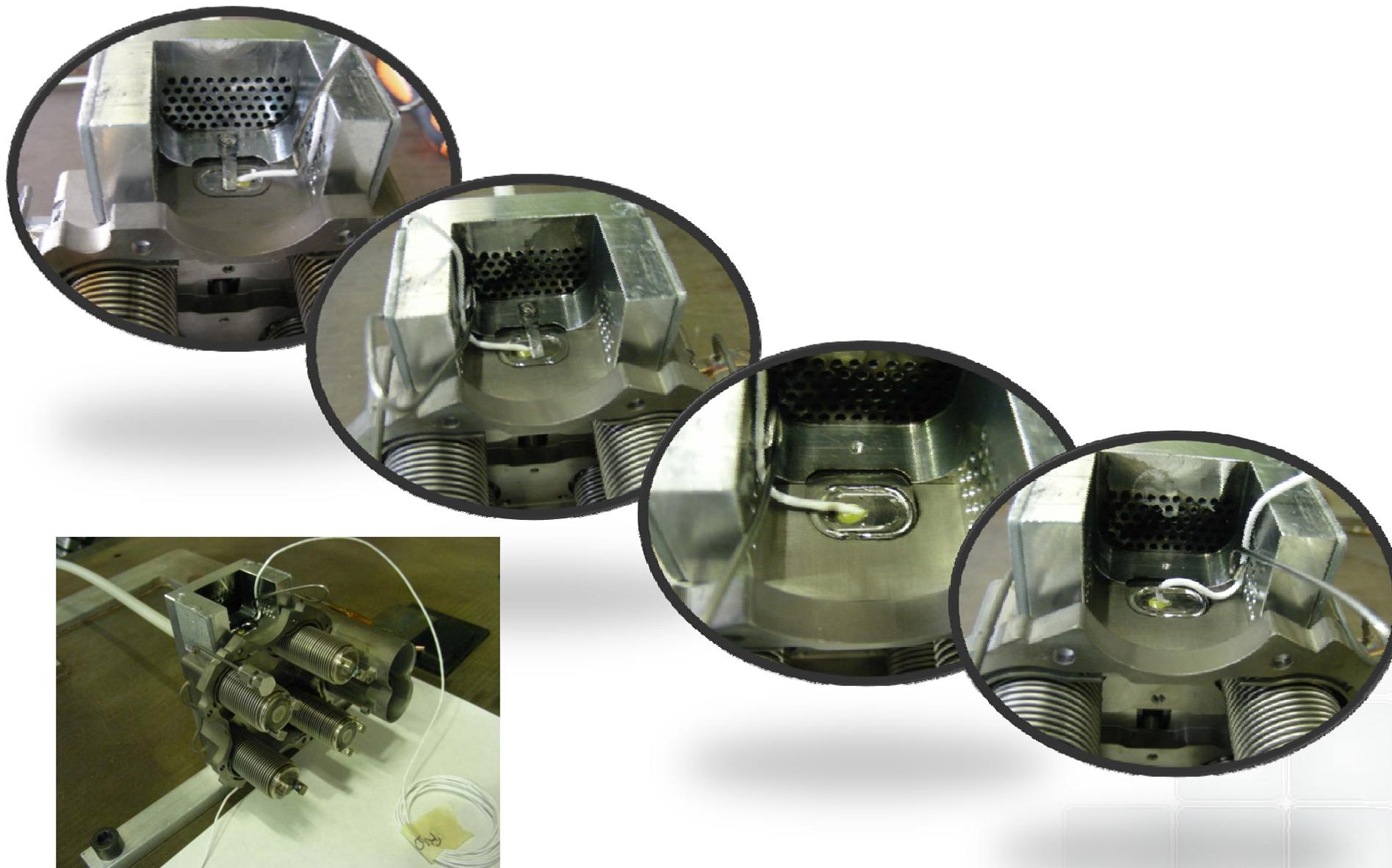


Simulacro di sensore con termocoppia



Fasi di saldatura del componente EQM con sensore di pressione reale

Sequenza della saldatura e risultato finale



Confronto Laser Fascio Elettronico

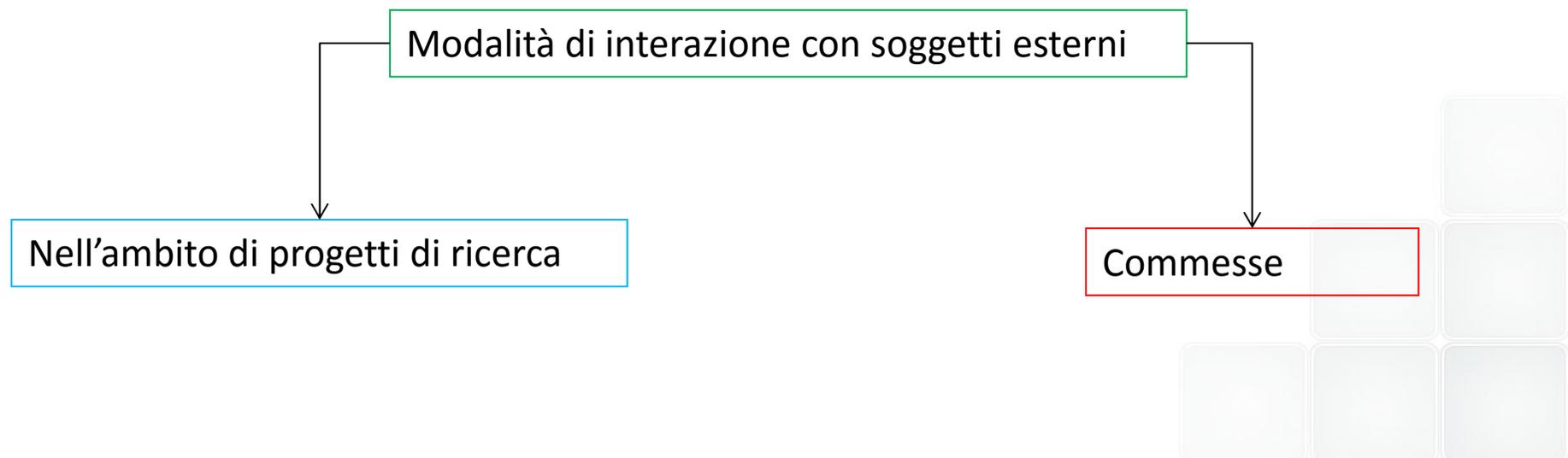


	Fascio elettronico	Laser
Saldatura di grossi spessori	Con 6 kW 20 mm di penetrazione (rapporto di forma fino a max 20:1)	con 5 kW 10 mm di penetrazione (rapporto di forma max 10:1)
Velocità elevata di saldatura	possibile	Possibile ma con limitazioni alla profondità
Materiali trattabili	Tutti i metalli (compresi i refrattari) anche giunti dissimili	Limitazioni con materiali altamente riflettenti (Cu e leghe). Possibile saldatura di polimeri
automazione	Si. Tempi di ciclo dipendono dalla velocità di evacuazione della camera di saldatura	Si. Tempi di ciclo molto rapidi
Dimensioni componenti	Legata alla dim. Della camera	Non ci sono restrizioni. Vantaggi dall'uso di fibre ottiche
Qualità	Alta (assenza di qualunque contaminazione)	Potenzialmente alta: problema porosità e ossidazione
consumabili	Filamenti, catodo, olio pompe da vuoto	Lenti, specchi, vetri di protezione, gas di protezione
rendimento	80-90%	7-25%

Conclusioni



- Il laboratorio dispone di macchinari e personale per
- lo studio di fattibilità della saldatura di:
 - Materiali innovativi
 - Giunti con geometrie particolari
 - Studio e sviluppo di dispositivi ausiliari
 - Caratterizzazione meccanica su materiale base e su giunti saldati
 - Esami non distruttivi (RX, UT, liquidi penetranti)
 - Microscopia ottica ed elettronica



Grazie per l'attenzione!