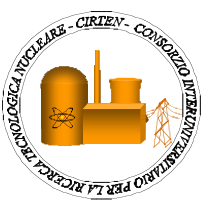




## Ricerca di Sistema elettrico

# Rapporto tecnico di fine fabbricazione di elementi prototipici del sistema primario dell'LFR

*Enrica Ghisolfi*



## RAPPORTO TECNICO DI FINE FABBRICAZIONE DI ELEMENTI PROTOTIPICI DEL SISTEMA PRIMARIO DELL'LFRR

Enrica Ghisolfi (FN s.p.a.)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV Generazione

Obiettivo: Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare

Responsabile del Progetto: Mariano Tarantino, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV generazione"

Responsabile scientifico ENEA: Mariano Tarantino

Responsabile scientifico CIRTEN: Giuseppe Forasassi

**Titolo**

Rapporto tecnico di fine fabbricazione di elementi prototipici del sistema primario dell'LFR

**Ente emittente FN SPA**

# PAGINA DI GUARDIA

**Descrittori**

**Tipologia del documento:** Rapporto Tecnico  
**Collocazione contrattuale:** Accordo di programma ENEA-MSE su sicurezza nucleare e reattori di IV generazione  
**Argomenti trattati:** Tecnologie dei Materiali  
 Caratterizzazione dei Materiali  
 Generation IV reactors

**Sommario**

Il presente rapporto descrive quanto svolto da FN nell'ambito dell'Accordo di collaborazione con ENEA per un'attività dal titolo: "Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante e sulla fabbricazione di componenti prototipici". Tale Accordo rientra nell'Accordo di Programma MSE-ENEA – Piano Annuale di Realizzazione 2012 ed è relativo alla tematica di ricerca "Energia Nucleare"; si riferisce alla linea progettuale LP2 "Collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV Generazione" obiettivo B – "Materiali e fabbricazioni" del progetto B3.1 "Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV generazione".

**Note**


Rapporto emesso da FN SPA

**Autori:**
**Enrica Ghisolfi (FN SPA)**
**Copia n.**
**In carico a:**

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	19/09/2013	NOME	Mariano Tarantino	NA	Mariano Tarantino
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA		CONVALIDA	VISTO	APPROVAZIONE





 <p><b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI</p>	<p><b>SIGLA DI IDENTIFICAZIONE</b></p> <p>LAM 056 R 393</p>	<p>Rev.            0</p> <p>Pag. :    3    di :    63</p>
---	---	---

**Allegati**

**All. 0 – Diagramma di flusso**

**All. 1 - Piano di Qualità (ASQ 056 Q 131 rev.1)**

**All. 2 - Piano di fabbricazione e controllo (ASQ 056 Q 132 rev.1)**

**All. 3 – Disegni delle componenti della griglia**

**All. 4 - Ciclo di laminazione su piastre in acciaio inox 15-15 Ti.**


**All. 5 – FRD lamine pervenute dal CSM**

**All. 6 – Disegno triplo punzone per stampaggio griglia**

**All. 7 – Report analisi EDS**

**All. 8 – Disegno preliminare per prove di foto-tranciatura chimica**

**All. 9 – Disegno definitivo per prove di foto – tranciatura chimica**

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    4    di :    63
--	---	--


## 1.0 Introduzione

Il presente rapporto descrive quanto svolto da FN nell'ambito dell'Accordo di collaborazione con ENEA per un'attività dal titolo: “Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante e sulla fabbricazione di componenti prototipici”. Tale Accordo rientra nell'Accordo di Programma MSE-ENEA – Piano Annuale di Realizzazione 2012 ed è relativo alla tematica di ricerca “Energia Nucleare”; si riferisce alla linea progettuale LP2 “Collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV Generazione” obiettivo B – “Materiali e fabbricazioni” del progetto B3.1 “Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV generazione”.

Il presente rapporto, che raccoglie la descrizione delle attività condotte da FN nell'ambito degli obiettivi A e B dell'Accordo di collaborazione con ENEA, costituisce il deliverable LP2.b.2\_a previsto dallo stesso Accordo. Tale documento viene consegnato ad ENEA a supporto della rendicontazione finale.

## 2.0 Documenti di riferimento

- Accordo di collaborazione ENEA – FN siglato il 18/03/2013 e relativo allegato tecnico: “Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante e sulla fabbricazione di componenti prototipici”
- Documentazione tecnica varia fornita da ENEA
- Documentazione bibliografica

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    5    di :    63
--	---	--

### **3.0 Descrizione attività svolte**

#### **3.1 Premessa**


ENEA, in qualità di progettista del nocciolo LFR (Lead Fast Reactor) secondo varie tipologie, necessita di associare alle attività progettuali anche studi approfonditi di fabbricabilità delle soluzioni proposte. La progettazione meccanica dei componenti del sistema primario di un reattore LFR presenta infatti problematiche progettuali, legate alla spinta di galleggiamento, agli effetti di fretting, ai rischi di ostruzione per errato controllo della chimica del refrigerante.

ENEA ha quindi commissionato ad FN lo studio di fattibilità e le relative prove di fabbricazione di una griglia spaziatrice dell'elemento di combustibile del sistema LFR. Le barrette di fascio di nocciolo veloce tipo LFR saranno montate a strati, in conformità con la geometria esagonale. Si rende quindi necessario studiare griglie intermedie componibili, cioè atte a essere messe in opera sulle singole nappe per poi essere facilmente inserite nello strato precedente. Il vincolo tra una griglia e quella successiva deve essere tale da garantire sia la connessione tra le parti che una forza di pressione sulle barrette per mantenerle in posizione.

Nella prima parte dell'attività svolta da FN (obiettivo A), sulla base di un disegno di massima della griglia spaziatrice ricevuto da ENEA/Ansaldo Nucleare, sono state svolte le seguenti attività:

- definizione del diagramma di flusso delle attività per arrivare alla realizzazione del mock-up di elemento (vedi schema riportato in Allegato 0);
- redazione di un piano di qualità della commessa (ASQ 056 Q 131 rev.1) riportato in allegato 1 e di un piano di fabbricazione e controllo (ASQ 056 Q 132 rev.1) riportato in allegato 2;
- valutazione e individuazione dei materiali per la realizzazione del prototipo (griglia + fascio + scatola esagonale);
- valutazione sui trattamenti termo-meccanici da effettuare ed acquisizione/approvvigionamento dei materiali;
- studi sulla progettazione esecutiva della griglia indicata da ENEA con valutazione del ciclo di lavoro e modifica delle geometrie in funzione dell'effettiva fattibilità con le tecniche ed i materiali individuati;
- controlli in ingresso sui materiali forniti da ENEA per la realizzazione delle componenti della griglia;
- progettazione di attrezzature accessorie/stampi per prove di assaggio materiali e loro realizzazione;



 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    6    di :    63
--	---	--

- redazione del “Rapporto tecnico relativo agli studi di fabbricazione di griglie spaziatrici per sistemi LFR” LAM 056 R 388 rev.1 , già inoltrato ad ENEA a supporto della rendicontazione intermedia.

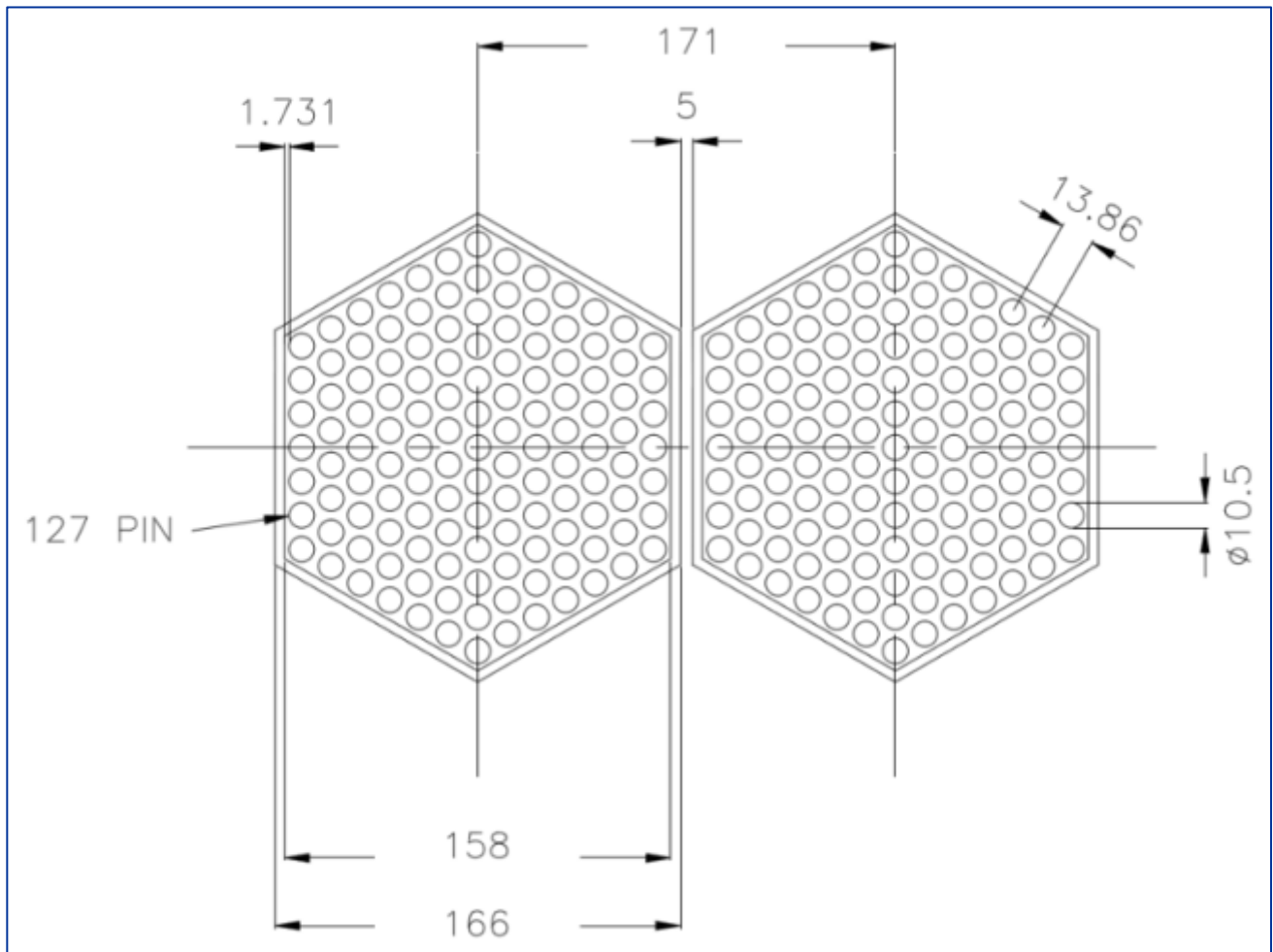
Sulla base di quanto sviluppato nella prima parte dell’attività, si è proseguito senza soluzione di continuità con lo svolgimento di quanto previsto nell’obiettivo B, ossia

- la progettazione definitiva dei componenti,
- il congelamento del ciclo di lavoro
- la valutazione e l’effettuazione di trattamenti termici sulle lamine da cui ricavare le componenti di griglia al fine di migliorarne il comportamento a piega
- la caratterizzazione fisico-strutturale dei materiali impiegati
- la realizzazione dei campioni prototipali simulanti le barrette
- la progettazione e realizzazione di stampi idonei
- la realizzazione di componenti prototipali costituenti la griglia
- la sperimentazione del ciclo di lavoro individuato
- l’assemblaggio dei componenti
- la redazione del rapporto di fine fabbricazione contenente la valutazione delle criticità incontrate, delle soluzioni affrontate e dei miglioramenti individuati nel corso della sperimentazione che potranno confluire nel proseguo dell’attività.

Poiché alcune attività sono già state ampiamente descritte nel report intermedio, inviato ad ENEA, per completezza di seguito se ne darà un sunto concentrando maggiormente l’attenzione su quanto svolto nella seconda parte della sperimentazione, che è comunque frutto dei risultati ottenuti nella prima parte.

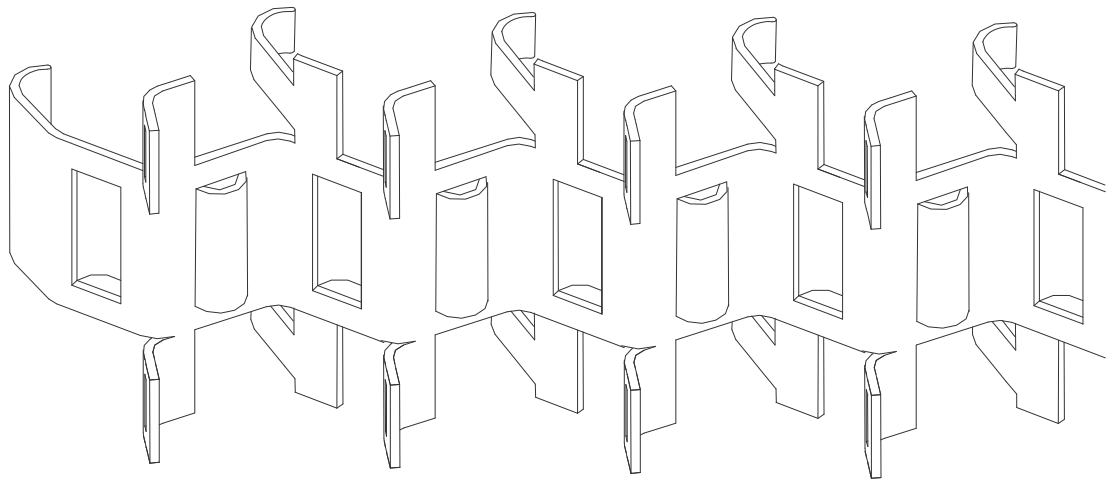
### **3.2 L’idea di griglia proposta da ENEA/ANSALDO NUCLEARE**

Le attività di progettazione della griglia spaziatrice si riferiscono ad una geometria esagonale (tipo ALFRED) in cui la chiave dell’esagono è pari a 158 mm (vedi Fig. 1).

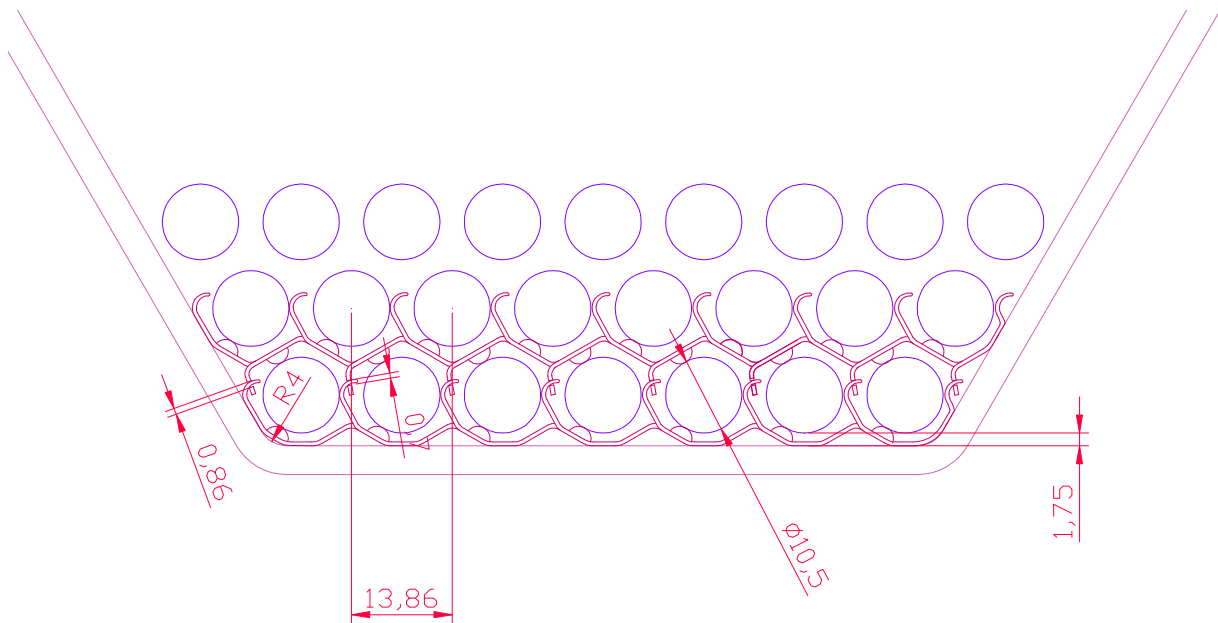


**Fig. 1 – Schema di massima esagono e barrette geometria ALFRED**

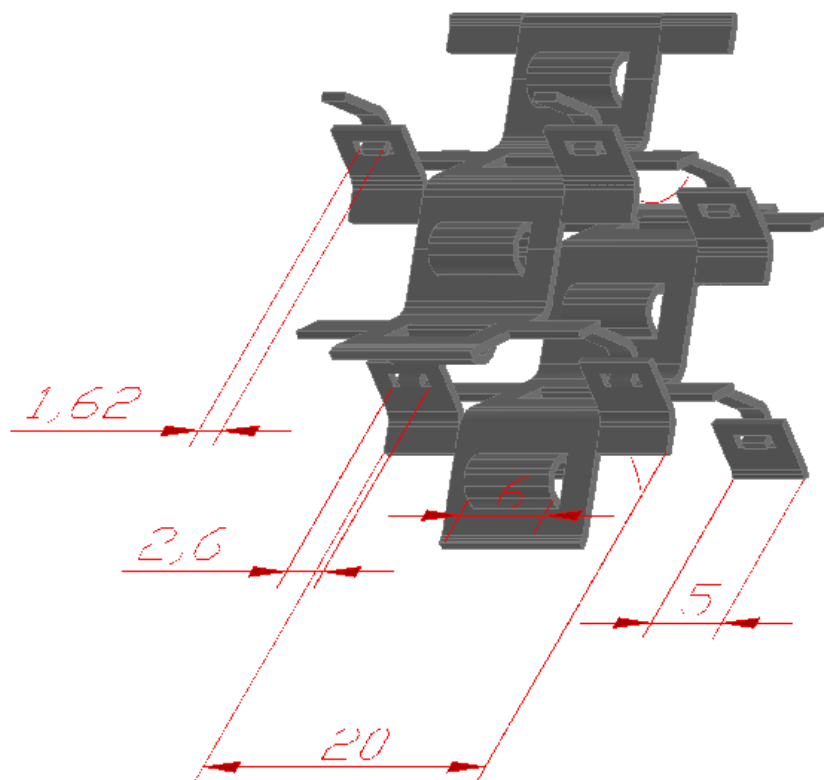
Date le problematiche proprie della filiera del piombo in cui non è possibile adottare il sistema del filo spaziatore impiegato ad esempio in SPX (reattore a sodio), occorre utilizzare una serie di griglie spaziatrici intermedie componibili che consentano di formare il fascio di barrette a strati successivi. Il vincolo fra una griglia e la successiva deve essere tale da mantenere sia la connessione tra le parti sia il posizionamento delle barrette soprattutto alla temperatura di esercizio del componente. L'idea progettuale da cui si è partiti è presentata nelle figure seguenti:



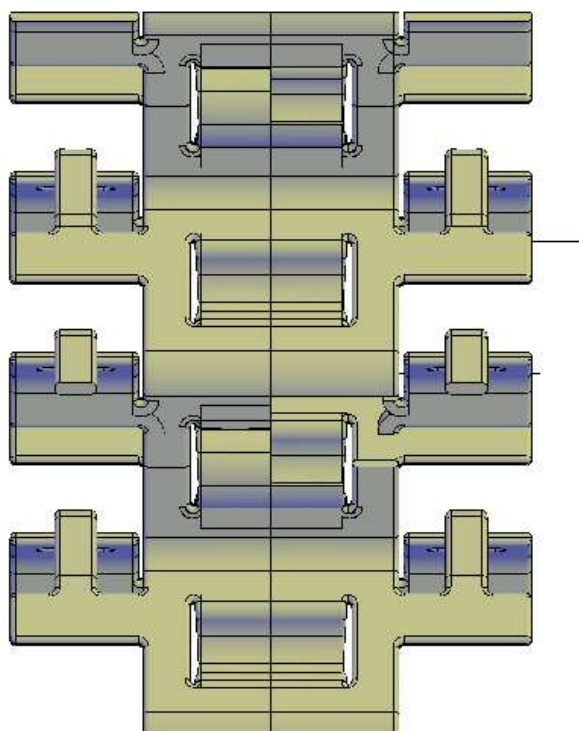
**Fig. 2 – Assonometria di uno spezzone di griglia componibile**



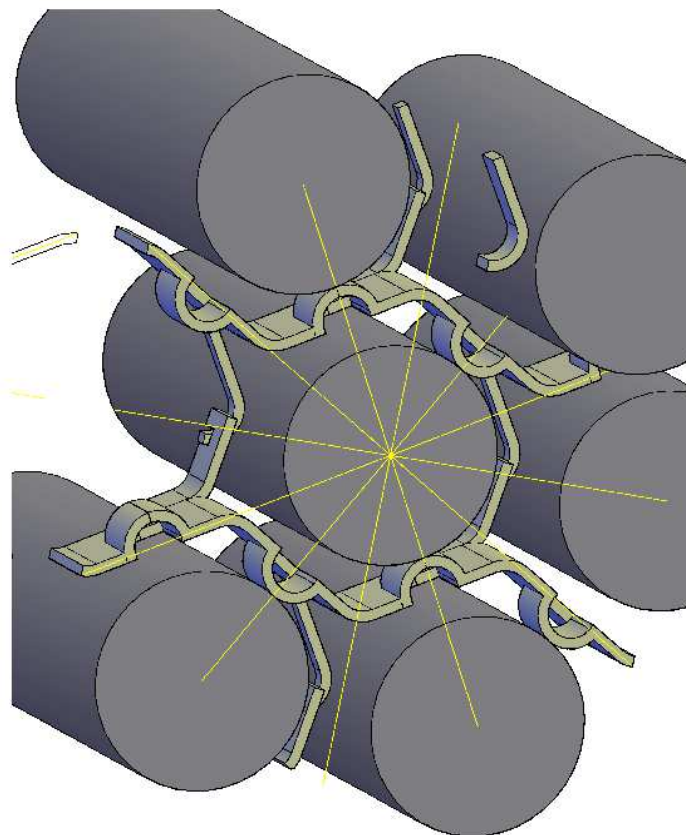
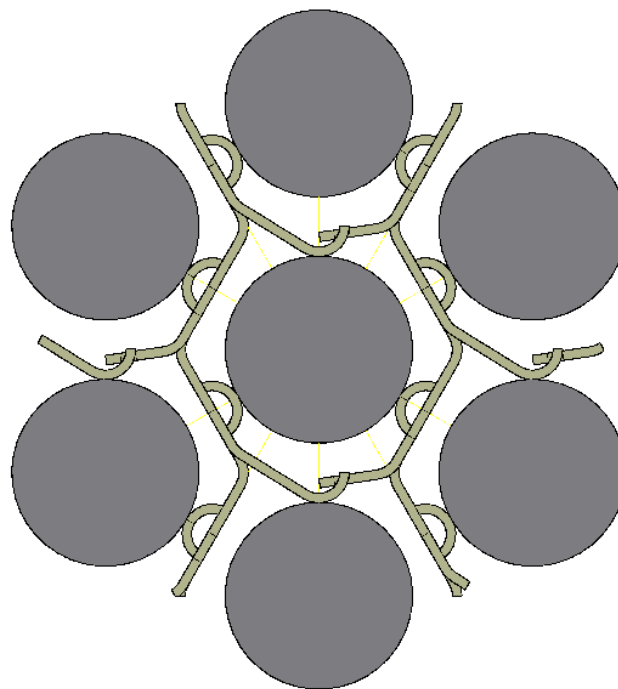
**Fig. 3 – Esempio di montaggio su scatola tipo ALFRED**



**Fig. 4 – Vista in 3D della griglia proposta**




**Fig. 5 – Vista dall'alto della griglia proposta**



**Fig. 6 – Immagini in piano ed in 3D della disposizione della griglia con le barrette**



 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    12    di :    63
--	---	---

barrette di diametro 10.5 mm, al fine anche di testare le difficoltà nel montaggio della stessa griglia, è stato necessario valutare le tipologie di geometrie reperibili sul mercato o da far fabbricare su specifica nei materiali più idonei all'applicazione per i tre componenti, ossia per la scatola esagonale, per la griglia e per le barrette.

### 3.3.1 La scatola esagonale

La scatola esagonale in geometria ALFRED presenta una chiave interna paria 158 mm ed uno spessore di parete di 4 mm. In FN sono ancora presenti alcuni esemplari di scatole esagonali del tipo SPX in acciaio inox speciale appositamente estruso (quindi si tratta di scatole senza saldature) di ottima qualità di grado nucleare (Fig. 8). Il materiale con cui sono state realizzate è del tipo Z6 CNDT 17-13 incrudito al tra il 23 ed 30 %; si tratta di un acciaio di tipo austenitico (come da specifica CORRAP (CRE1 CORR 350 Q Y 1211, disponibile in visione presso FN); in ogni caso in FN sono presenti anche scatole della stessa geometria in materiale sperimentale, ferritico-martensitico. La geometria esagonale SPX si discosta leggermente da quella di ALFRED per pochi mm: la chiave esagonale è pari a  $163.8 \pm 0.5$  mm con spessore di parete pari a  $4.6 \pm 0.4$  mm. In pratica, quindi, avremmo una differenza fra le chiavi sui nominali di circa 5.8 mm, ossia 2.9 mm per parte e di 0.6 mm sullo spessore di parete. Al fine di poter quindi impiegare materiali comunque adatti allo scopo e di più agevole disponibilità (visto anche le tempistiche ristrette), di comune accordo con ENEA si è deciso di impiegare le scatole esagonali tipo SPX per il mock-up, prevedendo l'inserimento di laminette di acciaio inox di spessore opportuno (Fig. 9) in modo tale da avere lo stesso frame interno di ALFRED nei confronti della griglia e delle barrette.

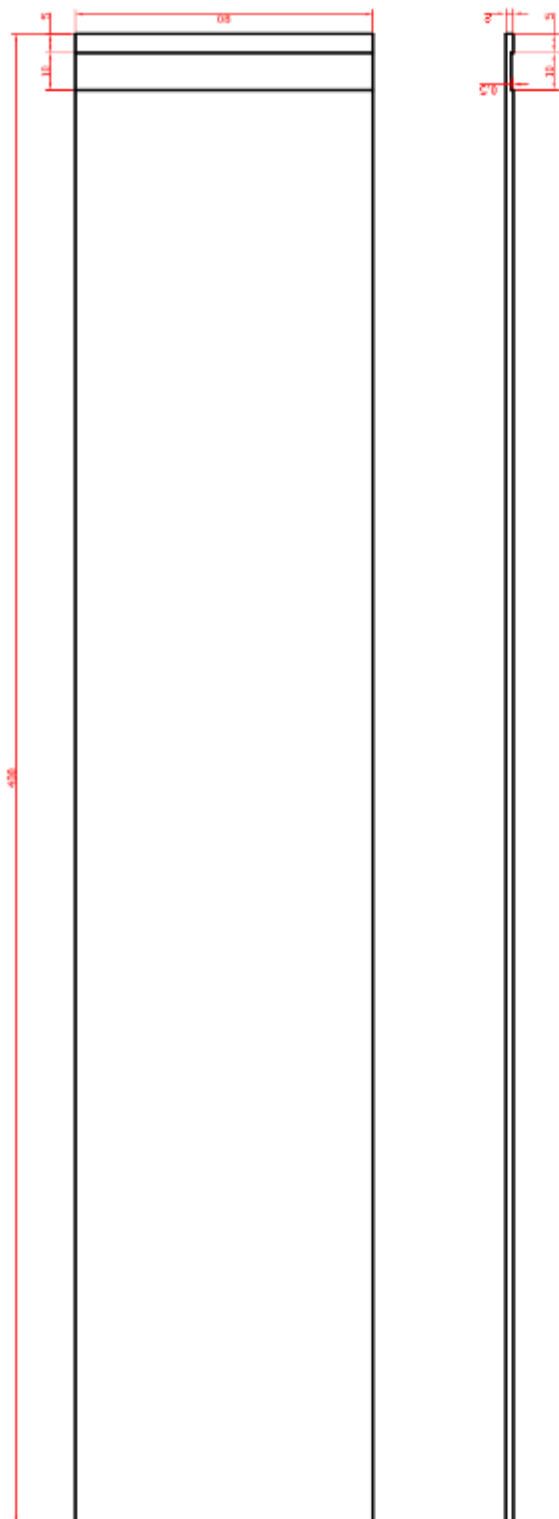
Nella figura 10 è mostrato un esempio di come tali lamine sarebbero inserite nel tubo esagonale tipo SPX, mantenendo la disposizione delle barre da 10.5 mm di diametro con gli interassi richiesti da ENEA/Ansaldo Nucleare.



**Fig. 8 – Scatole esagonali tipo SPX di diverse lunghezze**

La dimensione concordata con ENEA per l'altezza della scatola esagonale del mock-up è pari a 360 mm.





Platto in AISI 316 spessore 2mm  
n° 6 PEZZI



**Fig. 9 – Lamine da inserire all'interno della scatola esagonale**

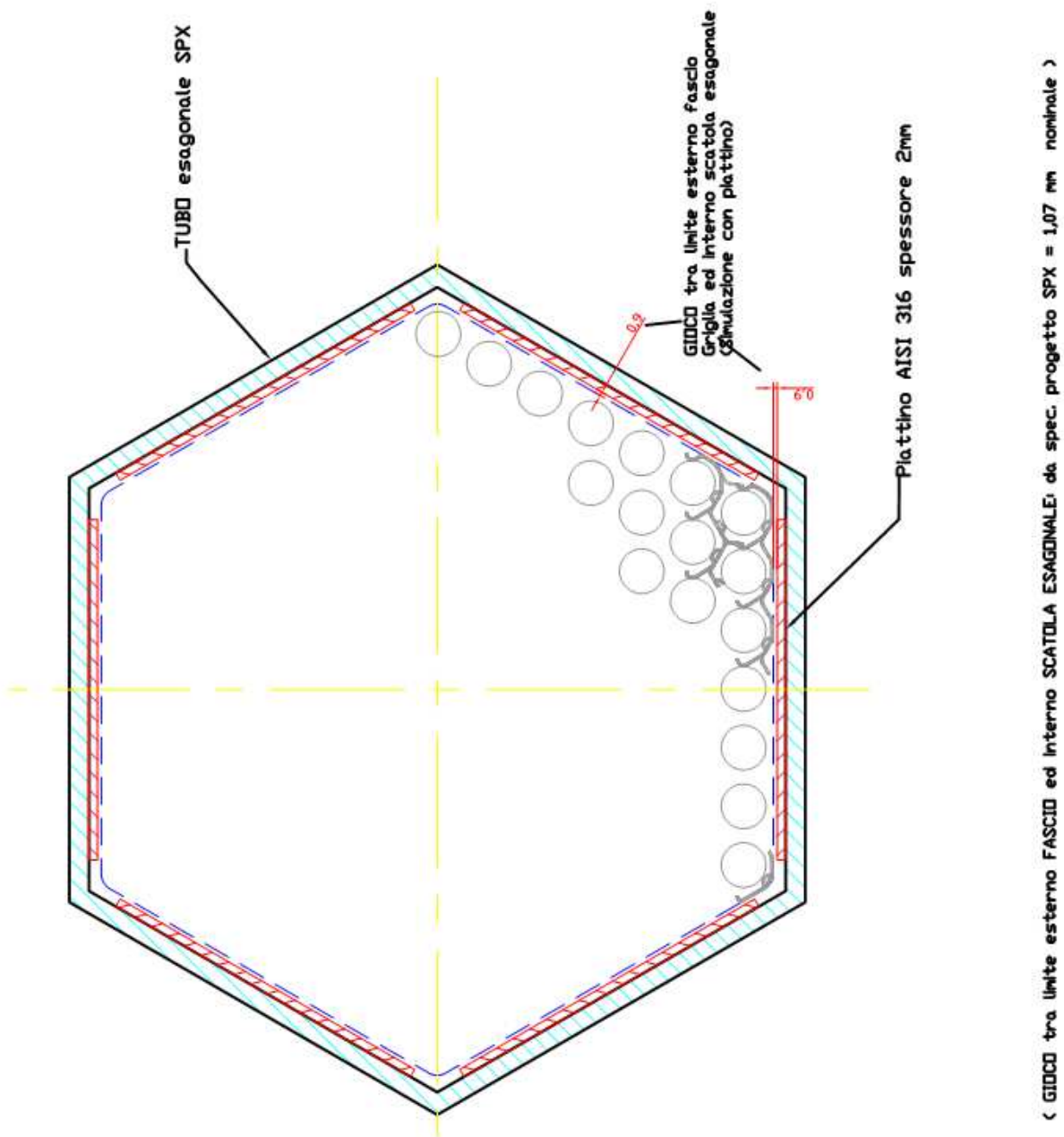



Fig. 10 – Giochi fra griglia e scatola esagonale ALFRED simulata con inserimento laminette

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    16    di :    63
--	--	---

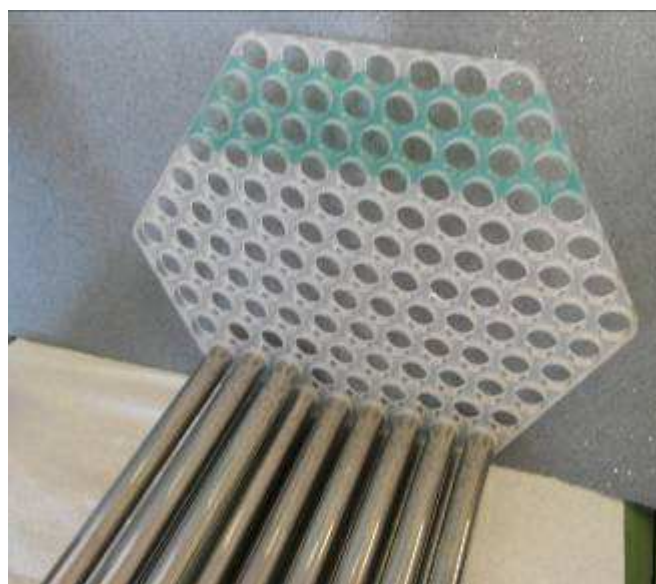
### 3.3.2 Le barrette

Per quanto riguarda le barrette simulanti gli elementi del fascio, in un primo momento, anche e soprattutto per motivi di tempistiche negli approvvigionamenti, si era pensato di impiegare materiali di tipo commerciale e quindi, chiedendo alcune offerte, si era visto che la dimensione di 10.5 mm non era disponibile a magazzino in materiale tipo AISI 316 L. I tubi di tipo commerciale sono, infatti, prodotti nei diametri 10, 12, 14 mm. Ciò vale anche per tondi.


A fronte di uno scambio di idee fra ENEA, Ansaldo Nucleare ed FN, al fine di non inserire ulteriori variabili sulle geometrie degli elementi e dei vincoli imposti dai progettisti, si è optato per cercare un fornitore di tubi da 10.5 mm che offrisse tempistiche compatibili con la durata della commessa.

E' stata quindi contattata la ditta T.A.I. SrL di Albavilla (Como), alla quale è stata chiesta l'offerta per la realizzazione di tubi da 10.5 mm di diametro, estrusi, senza saldature, in acciaio inox AISI 316 L. A seguito dell'ordine emesso da FN, nel mese di luglio sono giunti in FN oltre 50 m di tubi, della lunghezza media di 2 m l'uno. Tali tubi sono stati tagliati a misura nella lunghezza di 400 mm, per un totale di 127; ciascun tubo è stato smussato e preparato per il successivo montaggio a formare il fascio in geometria ALFRED secondo gli interassi concordati con ENEA/ANN. Sugli stessi tubi sono stati effettuati controlli dimensionali e visivi.

Al fine di facilitare le operazioni di assemblaggio e di centraggio dei tubi, sono state realizzate due maschere in plexiglass, di geometria esagonale, aventi 127 fori di diametro pari a quello dei tubi, leggermente maggiorato per permettere l'inserimento dei tubi suddetti. In figura 11 è possibile vedere un'immagine di una di queste maschere con l'inizio della creazione del fascio tubiero.



**Fig. 11 – Maschera in plexiglass ed inizio della formazione del fascio tubiero del mock-up**

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    17    di :    63
--	---	---

### **3.3.3 La griglia spaziatrice**

Il componente più difficile da realizzare per l'ottenimento del mock-up è la griglia spaziatrice, costituita da elementi componibili, che rappresenta anche l'oggetto principale dell'Accordo di collaborazione ENEA –FN.

Per quanto riguarda il materiale, sulla base delle prime indicazioni fornite da ENEA, si era pensato di impiegare dell'acciaio AISI 316 L di più facile reperimento anche in spessori molto sottili (0.5 mm – 0.7 mm); successivamente, durante la riunione con Ansaldo Nucleare, si è deciso di impiegare materiale di grado nucleare, già individuato da ENEA ed approvvigionato dalla stessa in forma di lastre da 750 x 250 x 15 mm: si tratta di acciaio inox speciale del tipo 15-15 Ti.

Al fine di ottenere delle lamine di spessore compatibile con l'idea progettuale della griglia era necessario attuare un processo di laminazione su tali piastre in modo da ottenere lo spessore voluto, ossia 0.5 mm. Tale operazione è stata quindi commissionata al CSM che l'ha effettuata secondo il ciclo di lavoro riportato in allegato 3.

Sulla base di indicazioni di letteratura si è deciso di far incrudire il materiale ad un grado piuttosto elevato per ottenere il cosiddetto effetto molla. Sono stati quindi testati due gradi di incrudimento diverso (50% e 75%) su due lotti appartenenti a due colate dello stesso materiale.


Nei prossimi paragrafi si darà più ampia descrizione delle attività svolte in relazione alla progettazione esecutiva, alla definizione del ciclo di lavoro, alle prove sui materiali per la realizzazione della griglia ed alle attività sperimentali di fabbricazione della stessa.

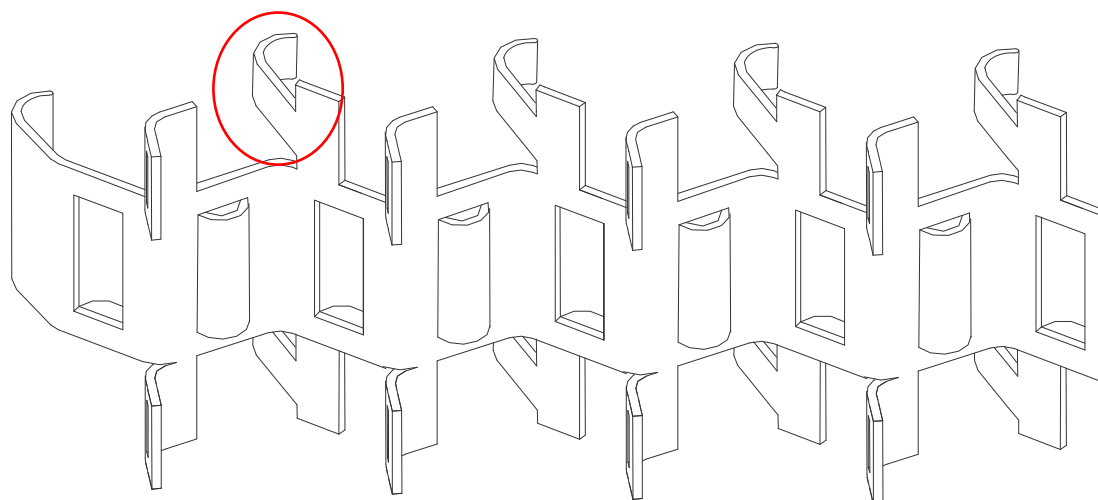
## **3.4 Progettazione esecutiva e realizzazione della griglia spaziatrice**

### **3.4.1 Progettazione griglia**

Il disegno di massima ricevuto da ENEA/Ansaldo Nucleare è stato sottoposto ad un'attenta valutazione da parte dell'ufficio tecnico di FN al fine di verificare i punti critici sia in termini realizzativi sia in termini di resistenza dei materiali in condizioni di esercizio.

Il primo punto critico individuato consiste nella porzione di lamierino che deve effettuare la pressione elastica e l'aggancio con la successiva componente della griglia (zona evidenziata nel cerchio in rosso nella figura sottostante). Si tratta di una sezione poco resistente e molto piccola, per cui il profilo della componente della griglia è stato modificato e la sezione resistente quindi aumentata.

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    18    di :    63
--	--	---



**Fig. 12 – Parte meno resistente evidenziata in rosso**


Inoltre, dovendo rispettare il vincolo della larghezza della fascia, pari a 20 mm, si è visto come non fosse possibile allargare maggiormente la parte ad uncino ma come fosse più agevole porre la zona di appoggio agli estremi e quella ad uncino centralmente. In questo modo si poteva conferire alla griglia una migliore resistenza e stabilità nel mantenere in posizione le barre, soprattutto anche nella fase di calettamento del fascio tubiero all'interno della scatola esagonale.

Ipotizzando la foto-tranciatura chimica come metodo per realizzare i tagli di precisione necessari e le sagomature, si è visto che la dimensione minima delle asole (come spessore) doveva essere 0.6 mm e quindi il disegno è stato ulteriormente modificato.

In Fig. 13 è riportato il disegno di una componente della griglia (per la fase di taglio prima della piegatura) dopo queste modifiche, nella parte modulare che si ripete. In Fig. 14 è inserito il dettaglio quotato della porzione di griglia modulare.

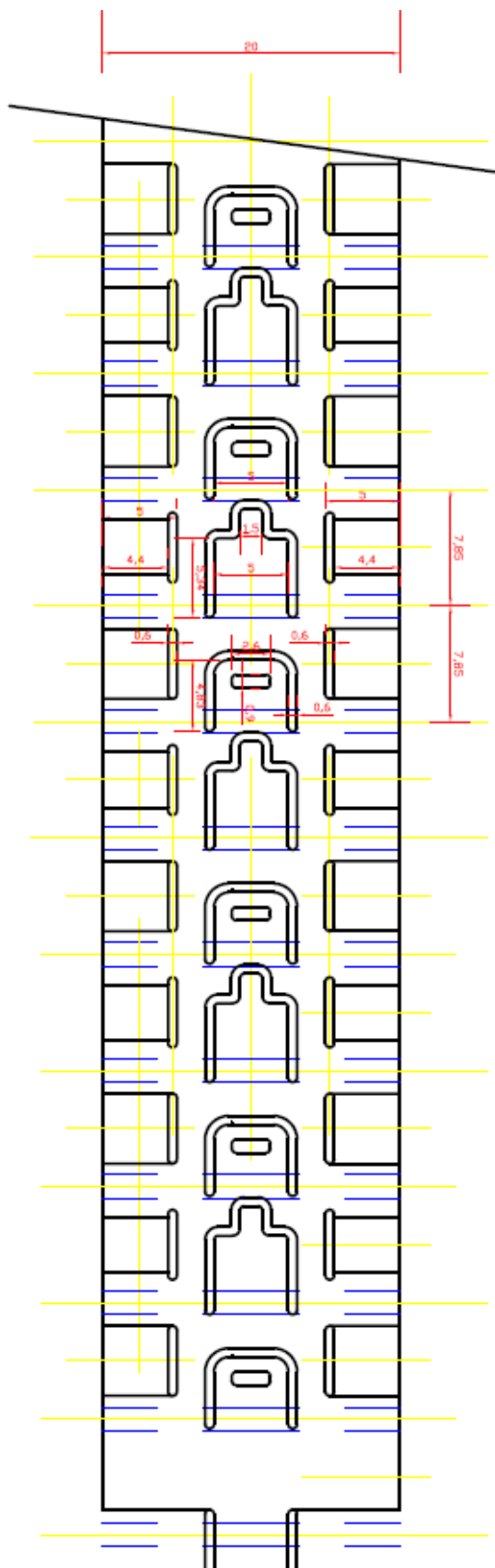
Un ulteriore punto da prendere in considerazione sono gli angoli di piega per ottenere le piegature, le nicchie e gli uncini: si è cercato di rendere queste angolazioni più morbide ed aumentare nei limiti del possibile i raggi di curvatura. In Fig. 15 è riportato il profilo che si ritiene più compatibile con le tecniche di formatura.

Al fine di facilitare la piegatura, si è ritenuto opportuno inserire degli intagli in corrispondenza delle zone del centro piega per favorire l'esatto posizionamento delle pieghe (piegatura semi-manuale); nel disegno trasmesso al foto-tranciatore sono state inserite linee di colori e spessori diversi in funzione dell'angolazione della piega (30° o 60°) e della vista della componente della griglia (se dal basso o dall'alto); tali viste sono necessarie per la tecnica di foto tranciatura descritta nei paragrafi

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    19    di :    63
--	---	---

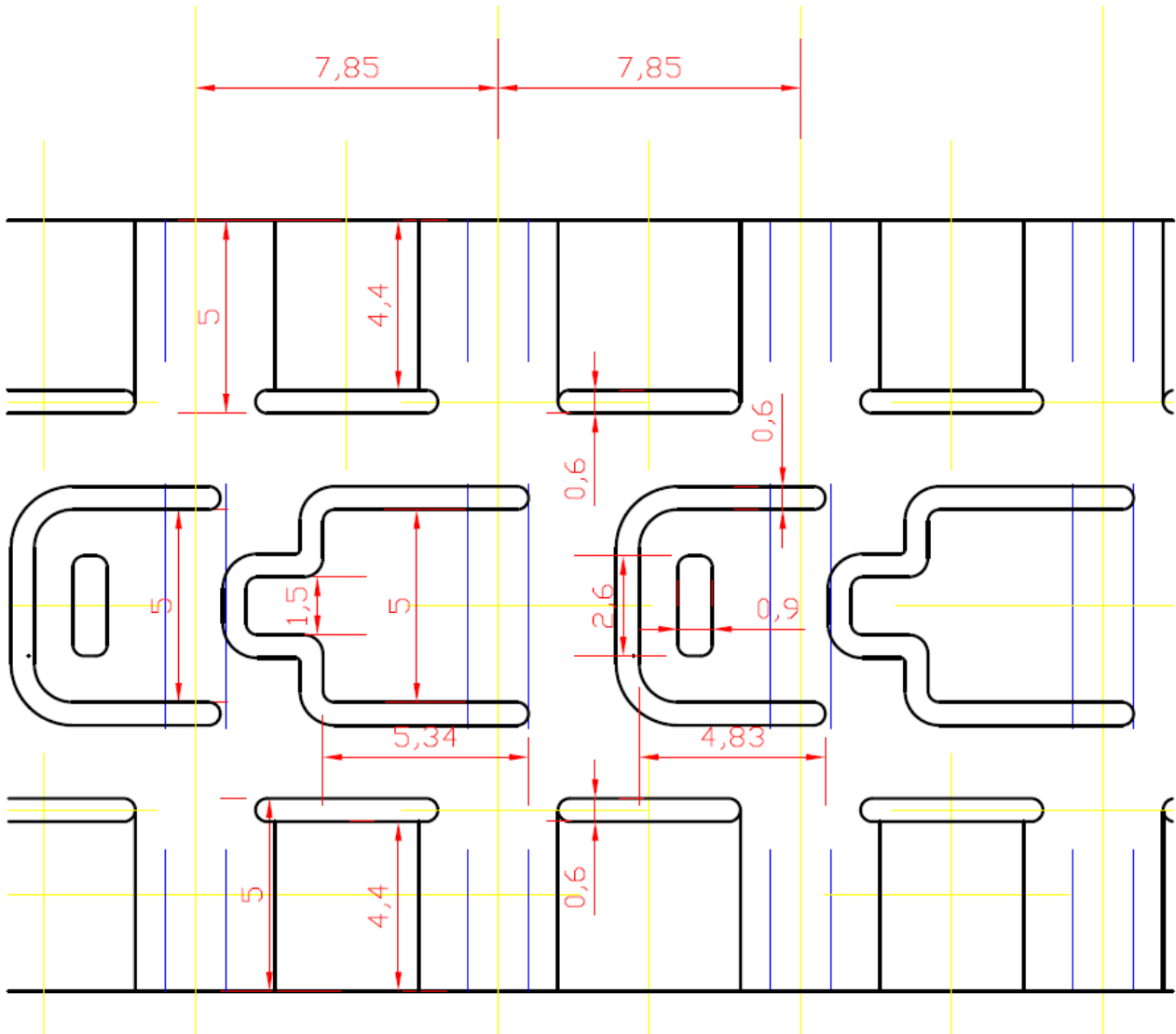
seguenti. La progettazione delle componenti della griglia ha visto la genesi di diversi disegni, via via modificati in funzione delle prove preliminari. Tali intagli, ovviamente, rappresentano delle possibili fonti di innesco di difettologie, e quindi saranno abbandonati nella realizzazione delle componenti della griglia mediante stampo per piegatura. In allegato 4 sono riportati i disegni definitivi emersi da questa sperimentazione (i file in autocad sono inviati direttamente ad ENEA): ciascun disegno si riferisce ad una componente della griglia e mostra il posizionamento di tale componente nell'ambito della griglia stessa; poiché si hanno 13 file di barrette sono necessarie 14 componenti di griglia, di cui la centrale costituisce la più lunga (in corrispondenza di una diagonale dell'esagono), mentre le altre sono sì speculari per quanto attiene lunghezza e geometria, ma presentano agganci nelle due parti finali completamente diversi e unici in funzione dell'accoppiamento con la scatola esagonale. Ciascuna componente, quindi, presenta l'aspetto modulare asola/nicchie/uncini, ma è diversa dalle altre per il tipo di finale che cambia in funzione della posizione. Ciò comporta, quindi, che ogni componente della griglia è praticamente un pezzo unico, per cui è necessario uno stampo apposito. In Fig. 16 è riportato lo schema complessivo delle 14 componenti nel loro posizionamento con le barrette entro la scatola esagonale.

Le fasi di montaggio delle singole componenti la griglia con gli strati di barrette successive sono state valutate ed inserite nel Piano di Fabbricazione e Controllo (vedi documento in allegato 2). Per tale operazione si è ipotizzato di allestire un banco di montaggio appositamente studiato per valutare le problematiche che poi si potranno incontrare nell'assemblaggio definitivo dell'elemento LFR. Date le tempistiche ristrette, però, non si è riusciti entro la fine del presente Accordo a completare la progettazione/realizzazione di tale banco, per cui le attività di assemblaggio sono state effettuate in manuale, lasciando al proseguo dell'attività la realizzazione del banco suddetto.



GRIGLIA-2

Fig. 13 – Disegno componente griglia (zona modulare)

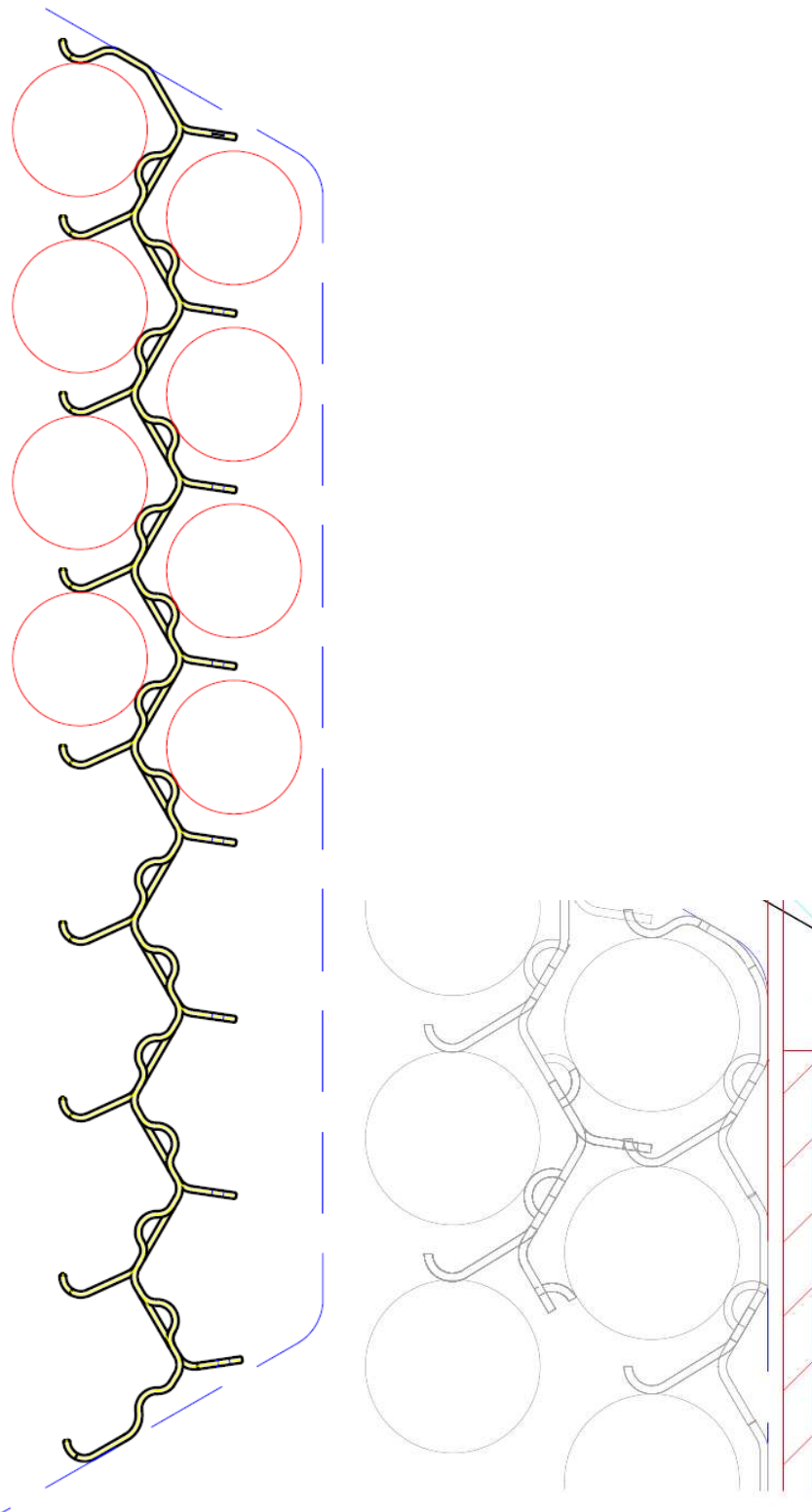


**Fig. 14 – Particolare quotato della porzione di griglia modulare**

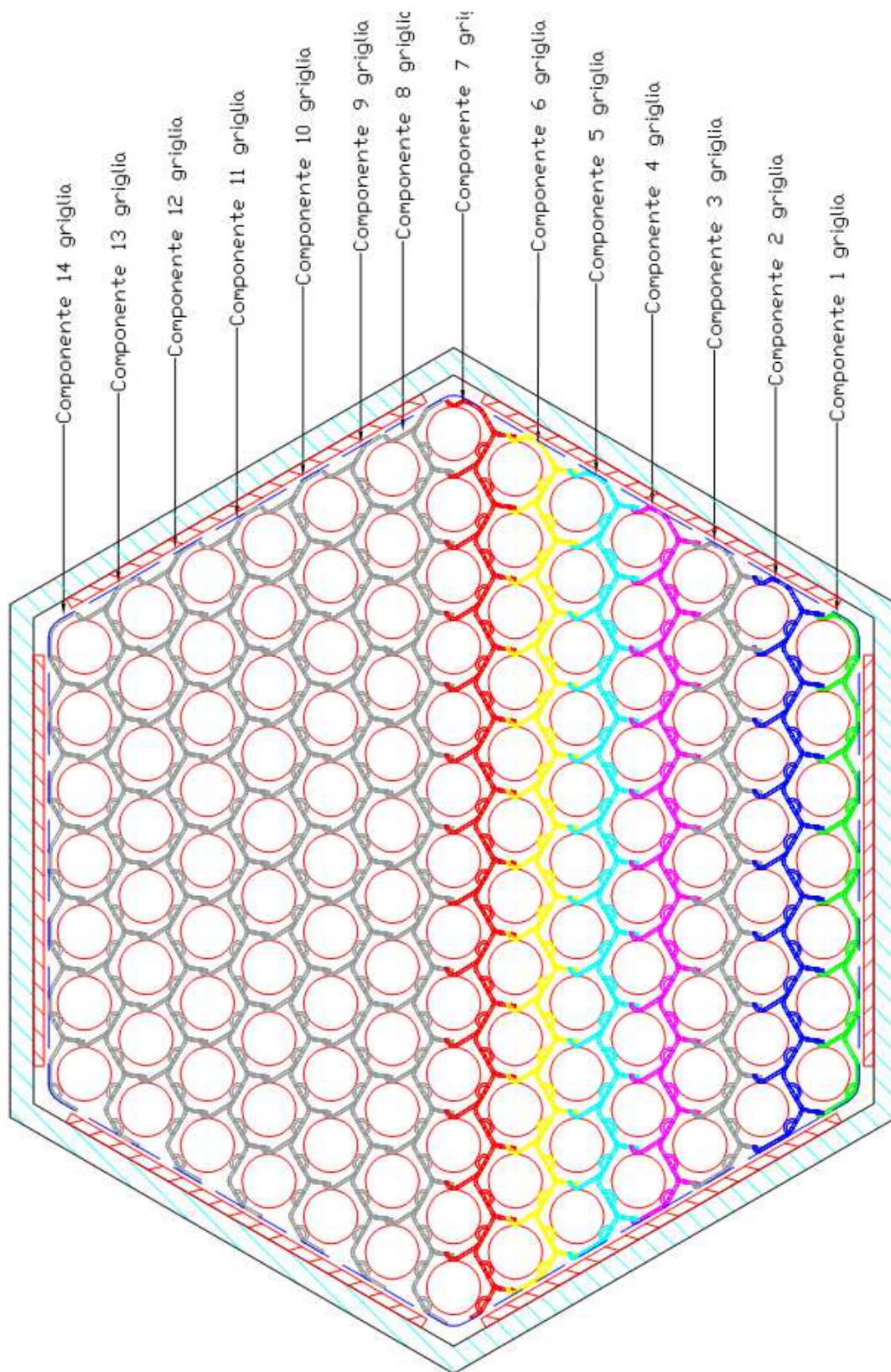





GRIGLIA-2



**Fig. 15 – Profilo di piega più compatibile con le tecniche di formatura (a sinistra), profilo iniziale (a destra) che non considera i raccordi fra le pieghe e la parte rettilinea della lamina**



**Fig. 16 – Schema della griglia spaziatrice e del fascio allocati entro la scatola esagonale**

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    24    di :    63
--	---	---

### **3.4.2 Controlli su lamine**

Come già indicato ai paragrafi precedenti, il materiale preso in esame per la griglia è di tipo austenitico ed ha grado nucleare. Tale materiale base (15 15 Ti) dovrebbe costituire già un miglioramento in termini di prestazioni rispetto a quello impiegato in SPX.

Al fine di ottenere un miglior comportamento elastico (effetto molla) si è deciso di aumentare il grado di incrudimento dello stesso, sperimentando due gradi: il 50 ed il 75%, facendo dei confronti con piccole porzioni di materiale ricavato da barre rimaste in FN dalle lavorazioni per SPX (barre in acciaio inox Z10 CNDT 15 – 15 B, incrudito tra il 22.5 ed il 30% e trattato termicamente prima dell'ultima passata di incrudimento).


Il CSM ha processato due lotti di materiale fornito da ENEA appartenente a due colate indicate con 1C e 2C; su entrambi sono stati effettuati i trattamenti di laminazione con i due incrudimenti (in allegato 4 sono riportati i dettagli del ciclo di laminazione effettuato da CSM). Le strisce ottenute dalle piastre spesse 15 mm hanno larghezza utile di circa 60 mm e lunghezza sui 490 mm. Considerando l'area utile (parte rettilinea esente da freccia), si è calcolato che vi potrebbe essere la possibilità di ricavare quattro o più componenti di griglia per lamina (in funzione sia della uniformità di larghezza della lamina (valutazione della freccia) sia della lunghezza delle componenti di griglia in questione).

Secondo quanto previsto dal piano di fabbricazione e controllo, le lamine provenienti dal CSM sono state controllate in FN in ricezione dal punto di vista visivo e dimensionale al fine di valutare l'entità della freccia, la dispersione negli spessori e la massima area utile al fine di poter ricavare dalla stessa lamina più componenti della griglia. I dati dimensionali sono stati raccolti in Fogli Rilevamento Dati (FRD) conservati in laboratorio metrologico a disposizione per eventuali verifiche e consultazioni. In allegato 5 sono riportate le copie scannerizzate di tali FRD.

### **3.4.3 Progettazione e realizzazione attrezzature per prove di piega e creazione nicchie**

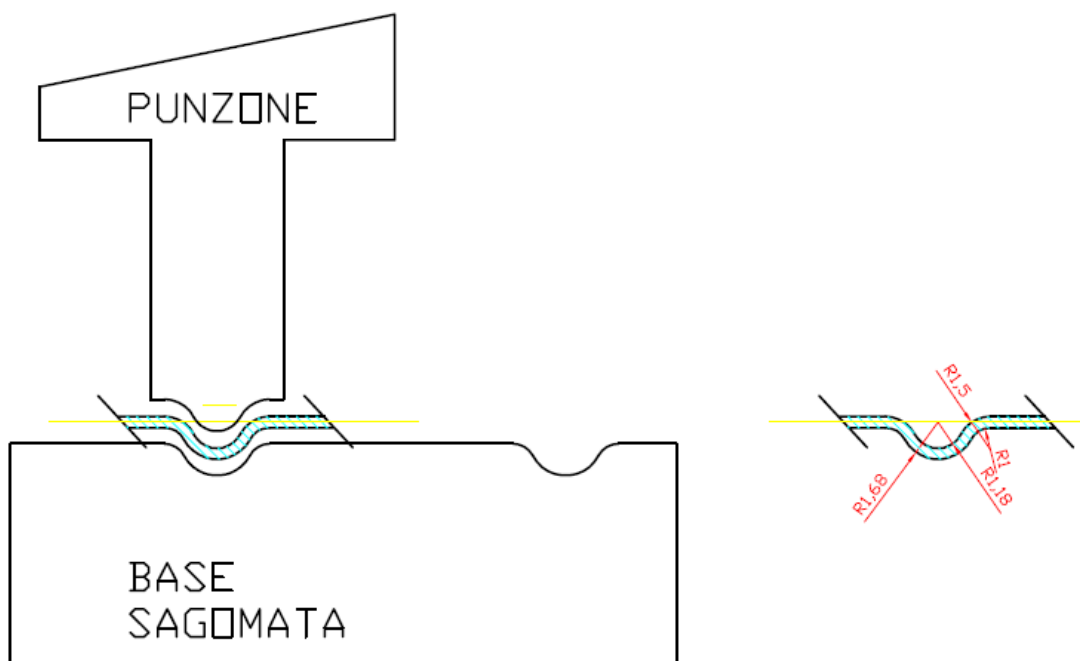
Al fine di verificare gli angoli di piega ottimali ed il comportamento del materiale, nonché la possibilità di disporre di un'attrezzatura per l'effettuazione delle numerose pieghe previste, si è deciso di progettare e realizzare un attrezzo che potesse essere montato sulla Macchina Universale per prove meccaniche della FN (Instron Mod. 4507), al fine di ottenere condizioni ripetitive di carico.

Nei disegni e nelle figure seguenti sono mostrati i particolari progettati e realizzati, anche nel loro montaggio definitivo sulla macchina universale.

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI IDENTIFICAZIONE</b> LAM 056 R 393	Rev.            0 Pag. :    25    di :    63
--	--	---

L'idea consiste nella realizzazione di un punzone superiore e di una matrice che ricalchino il profilo della piega che si intende imprimere nel lamierino al fine di ottenere le nicchie volute. In questa prima fase di verifica di fattibilità si è considerata l'ipotesi di una base sagomata con due incavi. I componenti dell'attrezzatura (matrice sagomata e punzone) sono stati realizzati in officina FN mediante elettroerosione a filo utilizzando del materiale adatto agli stampi disponibile in FN al fine di velocizzare il tutto.

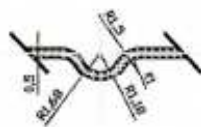
Attrezzo per prova di piega  
 punti di appoggio FISSI  
 griglia-barrette



**Fig. 17 – Schema dell'attrezzatura progettata per la prova di piega**



## PUNZONE 1



Laniera da stampare

## MATRICE

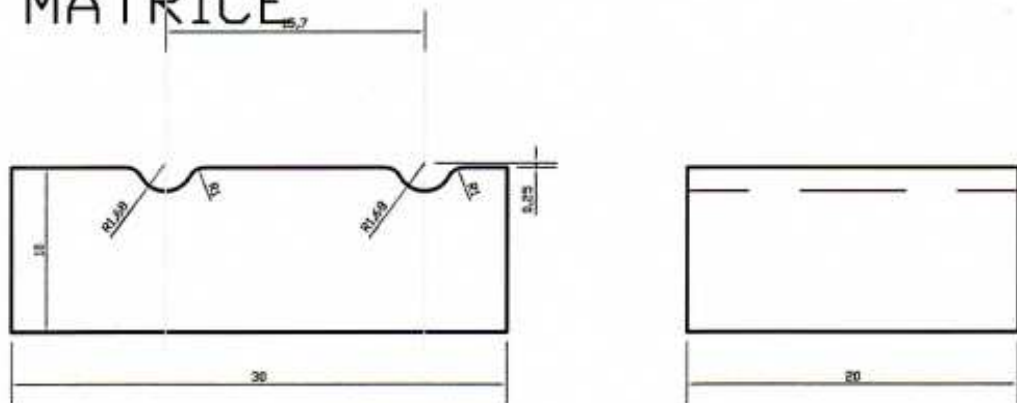
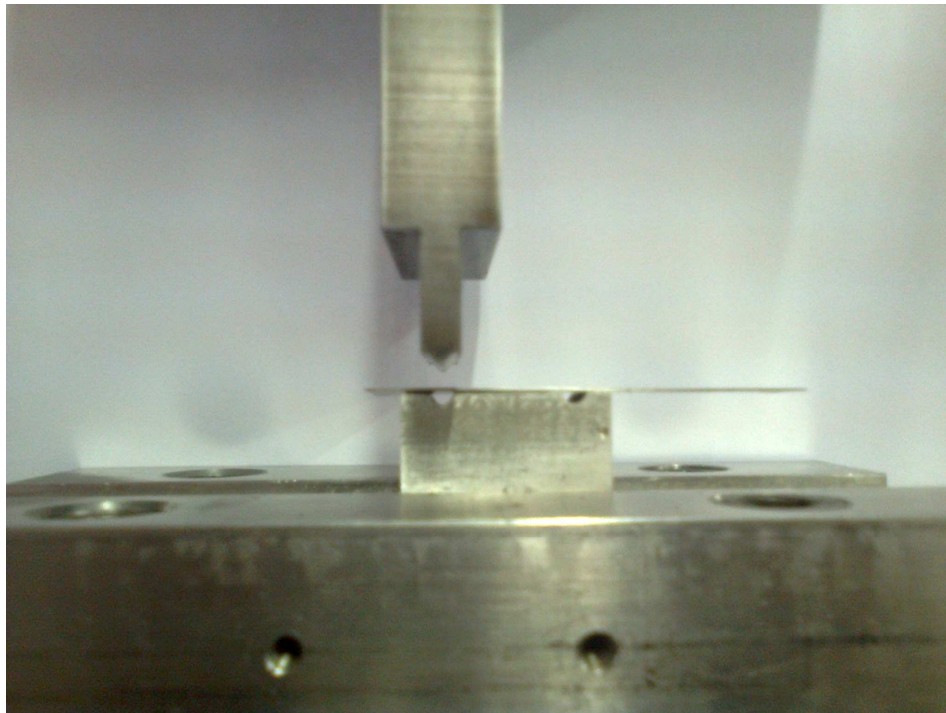

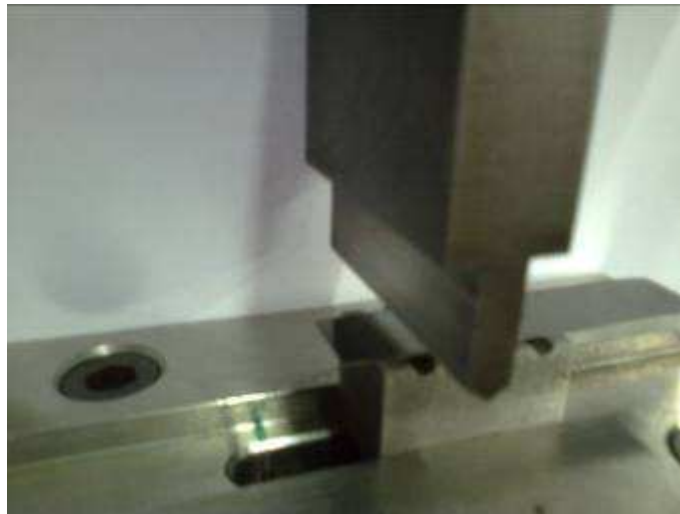


Fig. 18 – Disegno costruttivo del punzone e della matrice da realizzare mediante elettroerosione a filo

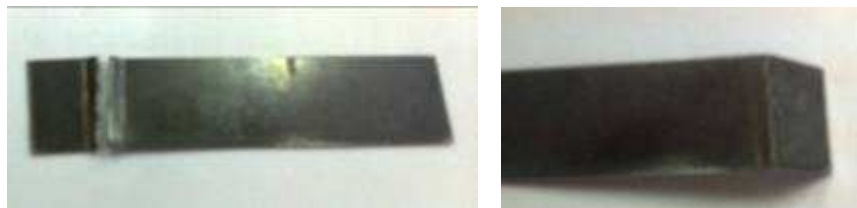


**Fig. 19 – Punzone e matrice realizzati in FN, montati sulla Instron: prima prova di piega per testare l'attrezzatura (fase di piegatura)**

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    28    di :    63
--	---	---




**Fig. 20 – Prova di piega con laminette ricavate dalle lamine in 15 15 Ti**



**Fig. 21 - A sinistra piega su materiale poco incrudito, a destra piega su materiale molto incrudito**

Dalle prove di piega effettuate sulle lamine incrudite e non, si è confermato che non era possibile avere una piegatura voluta senza la formazione di cricche/difetti o di rotture; in figura 21 si può vedere che il materiale molto incrudito presenta una piega a 90°, ovviamente non si deforma come un materiale più morbido.

L'attrezzatura in questione è stata impiegata anche per effettuare prove intermedie di lavorazione su pre-campioni contenenti asole al fine di ottenere informazioni per la progettazione definitiva della griglia, come visibile nelle figure seguenti.

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI IDENTIFICAZIONE</b> LAM 056 R 393	Rev.            0 Pag. :    29    di :    63
--	--	---



**Fig. 22 – Campioni tagliati con asole per effettuare prove preliminari**

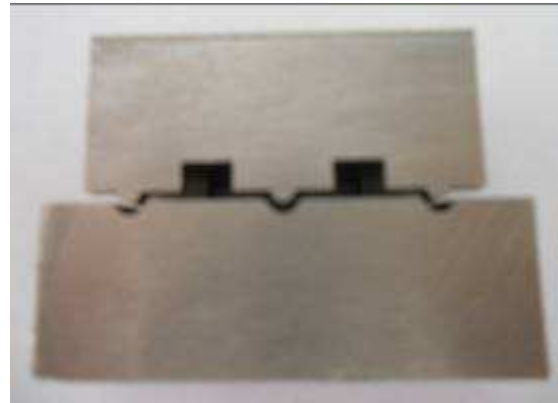


**Fig. 23 – Prova di piega su lamina con asole, campione dopo piega vicino ad asole a simulare la griglia**

Le prove effettuate hanno permesso di valutare quali trattamenti eseguire sulle lamine incrudite, o, comunque, a quale grado di incrudimento arrivare per avere un buon compromesso fra la piegabilità e l'effetto molla; inoltre, sono stati valutati gli effetti di vicinanza delle piegature sulla progettazione della griglia definitiva.

Al fine di avere uno stampo che permettesse di avere più nicchie contemporaneamente sui lati della griglia come previsto dalla configurazione definitiva della griglia, è stato progettato lo stampo triplo punzone, il cui disegno esecutivo è riportato in allegato 6 (mentre il file in autocad è stato trasmesso ad ENEA); lo stampo è stato realizzato mediante elettroerosione a filo partendo da una barra a sezione quadrata in AISI 316 L. Nelle figure seguenti si riportano alcune immagini di tale stampo sia nelle sue componenti sia montato sulla pressa in cui è stato testato.






**Fig. 24 – Immagini dello stampo triplo-punzone**



**Fig. 25 – Stampo montato sulla pressa**


 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    31    di :    63
--	---	---

### 3.4.4 Valutazione e definizione del ciclo di lavoro

Come già evidenziato nella relazione a supporto della prima rendicontazione, sulla base delle specifiche geometriche della griglia, il ciclo di lavoro ipotizzato consta essenzialmente di quattro step principali:

1. segnatura delle lamine per contornare i rettangoli da cui saranno ricavate le componenti della griglia
2. tranciatura chimica di più componenti di griglia per lamina in funzione della lunghezza e dell'area occupata dai singoli componenti, con effettuazione di tagli (asole e linguette), eventuali pre-tagli (incisioni a metà o ad altezza variabile nel senso dello spessore nelle posizioni di piega) e taglio dei bordi esterni; i pre-tagli sono stati inseriti per avere indicazione della corretta posizione delle piegature da effettuare in modo manuale sui campioni preliminari, necessari per valutare la fattibilità, mentre saranno eliminati sui campioni finali in quanto le piegature saranno effettuate con stampo apposito;
3. deformazione mediante pressa attrezzata con stampo apposito per ottenere supporti fissi (nicchie)
4. piegatura del lamierino, mediante stampo apposito, per ottenere l'andamento della componente di griglia che segue il posizionamento delle barrette secondo a geometria stabilita
5. piegatura finale per ottenere agganci ed uncini con ulteriore stampo appositamente progettato..

Nel caso della tranciatura, si è preferito optare per quella chimica, di cui FN ha già esperienza in quanto adottata per la realizzazione di particolari molto precisi costituenti le componenti metalliche degli stack sperimentali a celle a combustibile a carbonati fusi; tale processo consente di ottenere bordi arrotondati nel taglio e quindi ciò migliora sia l'inserimento delle barrette nella griglia con minori possibilità di impuntature, facilita lo scorrimento, dovrebbe evitare o, comunque, diminuire la possibilità di rigature delle barrette e favorire il flusso del refrigerante. Questa tecnica permette di lavorare un'ampia gamma di metalli, con elevate precisioni e ripetibilità nel rispetto delle tolleranze. Si tratta di una tecnica tecnologicamente innovativa tra quelle di trasformazione dei metalli, seppure sia presente sul mercato da oltre 30 anni. Permette la realizzazione di geometrie complesse senza applicare sollecitazioni meccaniche o termiche e con superfici lavorate libere da bave, per cui su lamine così sottili non si dovrebbero avere delle distorsioni. Per spessori sottili (da 0.02 a 2 mm) risulta fortemente competitiva rispetto ad altre tecniche, soprattutto in occasione di

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    32    di :    63
--	---	---

geometrie molto complesse che richiedono contemporaneamente tagli passanti e semi-incisioni all'interno della figura.

La foto-tranciatura chimica consiste, brevemente, nelle seguenti fasi:


- viene realizzata una matrice fotografica al computer (ossia viene creata la sagoma del pezzo da realizzare riportata in negativo su una pellicola trasparente); la sagoma è impressa sul fronte e retro della matrice;
- la lastra di acciaio viene ricoperta con un film plastico che è impressionato dalla luce e l'immagine dalla pellicola fotografica è riportata alla lastra lasciando scoperta la parte da asportare;
- il passaggio finale consiste nell'intervenire con l'azione di un particolare acido che erode la superficie ricavando la geometria del pezzo;
- la pellicola fotosensibile viene a questo punto rimossa ed il pezzo è pronto, "impaginato" in lastre, agganciato a due minuscoli punti di attacco.

Si tratta di una tecnologia bidimensionale, i pezzi vengono realizzati in piano. E' comunque fattibile anche la realizzazione di particolari tridimensionali e con l'impiego di tutti i materiali metallici ad esclusione di titanio, oro, platino, palladio, tungsteno, molibdeno e metalli con alta resistenza agli acidi. Comparata con altre tecnologie più tradizionali, questa tecnica offre diversi vantaggi fra cui:

- estrema flessibilità: parti molto complesse o irregolari possono essere costruite con la stessa facilità ed allo stesso costo di quelle più semplici;
- elevate precisioni dimensionali a partire da +/- 0.015 mm
- ampia gamma di spessori lavorabili da 0.02 mm a 2 mm;
- totale integrità della struttura molecolare: non vi sono schiacciamenti o stress, le proprietà del materiale non vengono alterate dalla lavorazione
- tempi di consegna piuttosto rapidi
- costi interessanti dalla prototipazione alla produzione.

Inoltre, la possibilità di realizzare semi-incisioni sul pezzo permette la creazione di canaline per favorire la piega manuale.

Poiché FN non è dotata di tale tecnologia, ci si è rivolti ad una ditta specializzata, già qualificata in precedenti attività di FN: si tratta della Benedetti SrL – Progetto Subfornitura.

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    33    di :    63
--	---	---

### 3.4.5 Trattamenti termici su lamine incrudite, foto tranciatura chimica e caratterizzazioni

Come già indicato in precedenza, dalle prove di piega si è visto che il miglior compromesso fra la necessità di avere del materiale incrudito e la possibilità di piegarlo senza innescare difetti consisteva nel realizzare un incrudimento del 30 % con un trattamento termico prima dell'ultima passata di incrudimento in modo da conferire al materiale l'attitudine all'allungamento senza causare rotture.

Per motivi di tempo, non è stato possibile avere delle altre lamine trattate in questo modo, o comunque trattare termicamente alcune lamine molto incrudite e poi effettuare ancora un trattamento in laminatoio, per cui si è optato per trattare termicamente alcune delle lamine ricevute, sottoponendole ad un trattamento di solubilizzazione a 1080 °C in modo da omogeneizzare la struttura del materiale e diffondere i carburi nella matrice. In questo caso si è ottenuto un acciaio dalla buona plasticità. Successivamente è stato effettuato un trattamento di distensione per eliminare le tensioni residue che potrebbero causare problemi di corrosione in tensione.

Su alcuni campioni sono state misurate le durezza superficiali nei vari stadi di trattamento e si è riscontrato lo stesso comportamento per entrambe le tipologie di materiale incrudito:

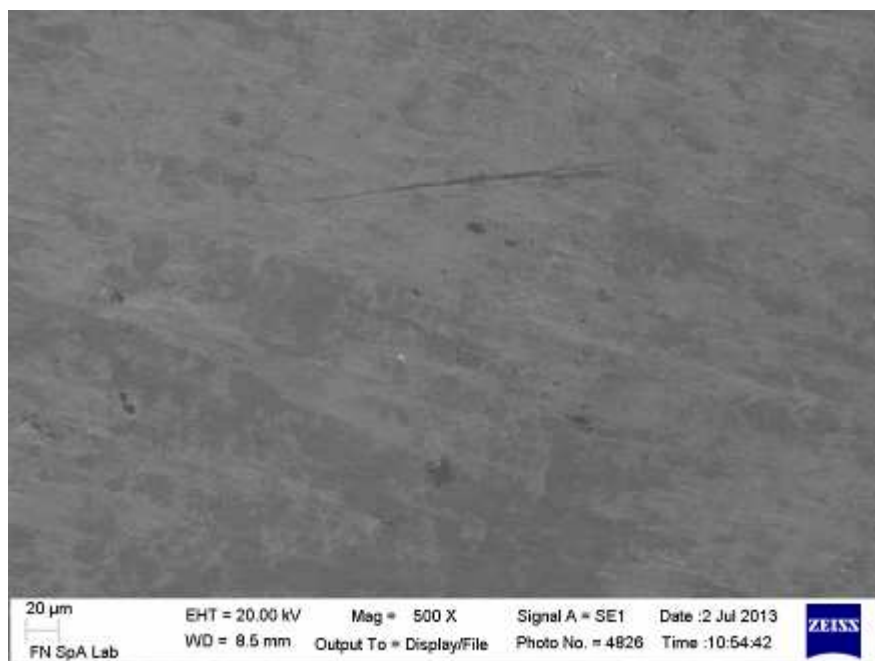
<b>Identificazione campione/materiale</b>	<b>Durezza HRN15</b>
Lamina incrudita 50-75% tal quale	67
Lamina incrudita 50-75%, portata a 500°C e raffreddata naturalmente	70
Lamina incrudita 50-75%, trattata a 1080°C e poi raffreddata in modo brusco in acqua	30
Lamina incrudita 50-75%, trattata a 1080°C e poi a 500°C	35-40
Materiale da SPX (20-30% incrudimento) tal quale	43-45
AISI 304 tal quale	37

Dalla tabella si può vedere come, a livello di confronto, il materiale del SPX presenti una durezza simile a quello incrudito, solubilizzato e poi sottoposto ad un ulteriore trattamento.

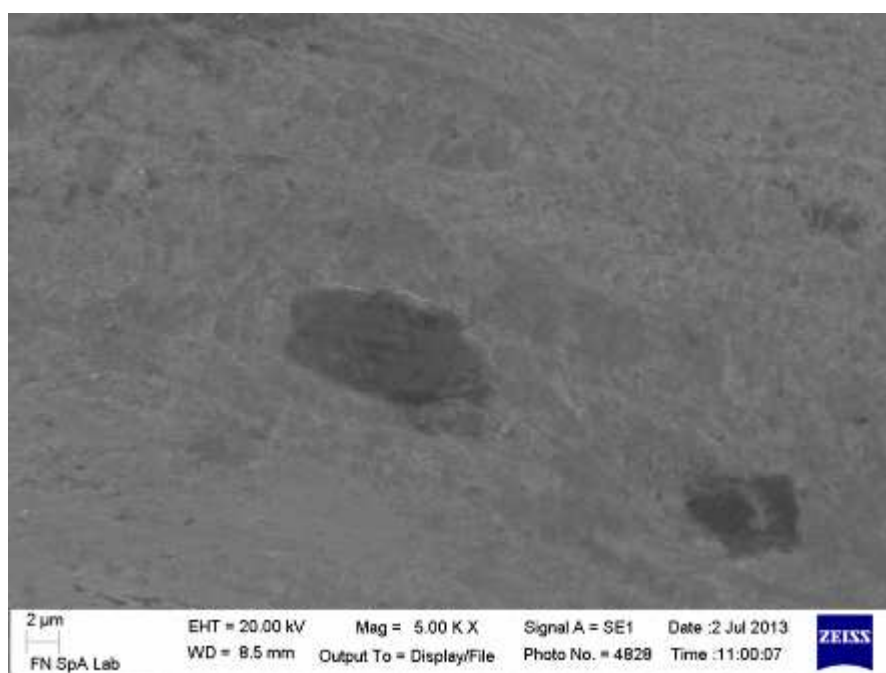
Sulle lamine a diverso grado di incrudimento e dopo trattamento sono state effettuate analisi al microscopio elettronico a scansione e di microanalisi EDS al fine di confrontarne la morfologia sia in superficie sia in sezione e l'eventuale presenza di elementi estranei dopo i trattamenti termici, rispetto alla composizione delle lamine tal quali provenienti dal CSM.

Di seguito si riportano alcune immagini più significative, mentre in allegato 8 sono visibili alcuni report di microanalisi. A commento dei queste ultime analisi si può affermare che la composizione

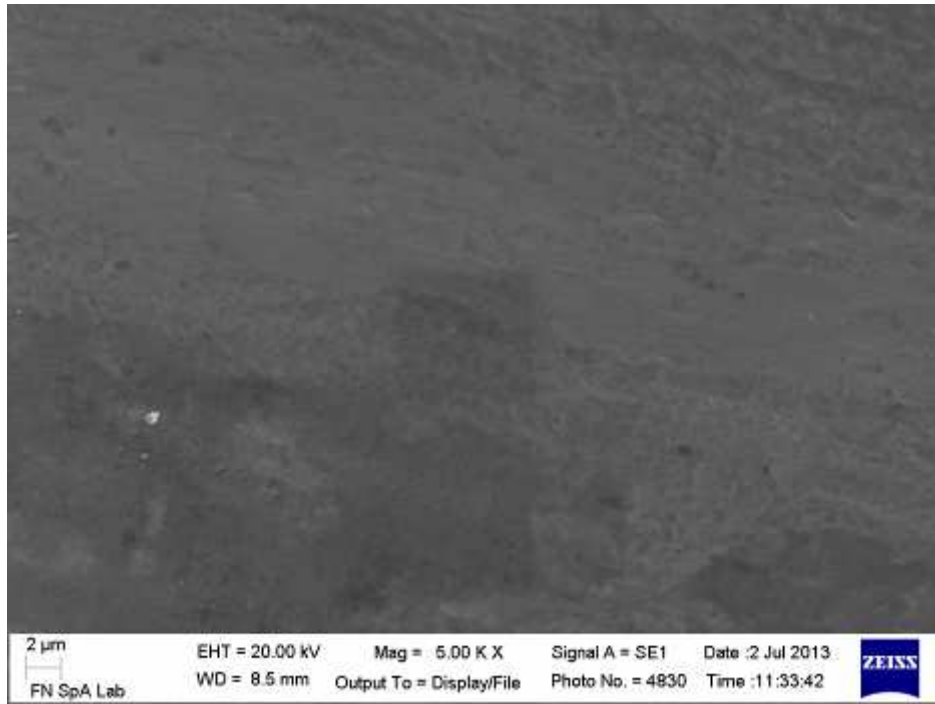
delle lamine tal quali rispecchia quanto previsto dalla specifica di produzione (tenendo comunque conto dei limiti dell'analisi EDS che non vede al di sotto di una certa percentuale e che non è affidabile nella valutazione del C; in questo senso le analisi riportate sono di carattere semi-quantitativo) e che dopo i trattamenti effettuati in FN i valori restano pressoché nello stesso range per ciascun elemento.



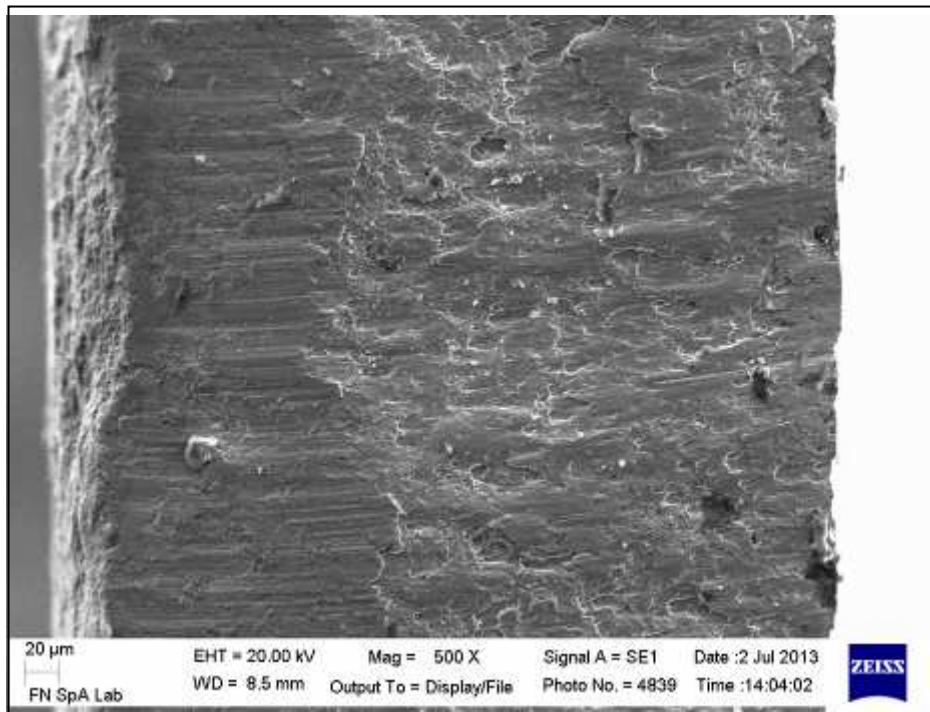
**Fig. 26 – Immagine al SEM di lamina incrudita al 50% - superficie a 500 X**



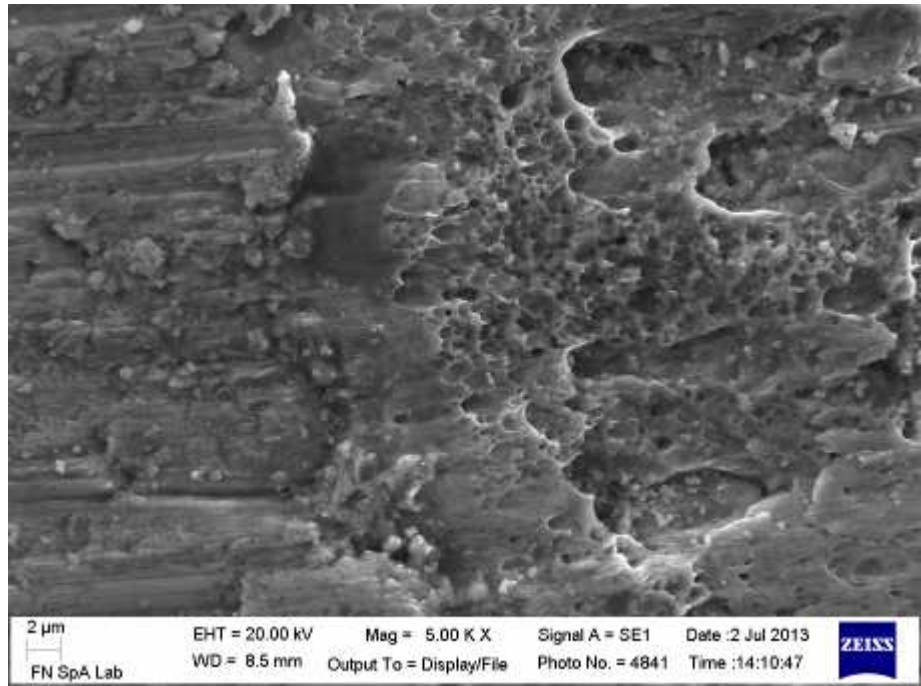
**Fig. 27 – Immagine al SEM di lamina incrudita al 50% - superficie a 5000 X**



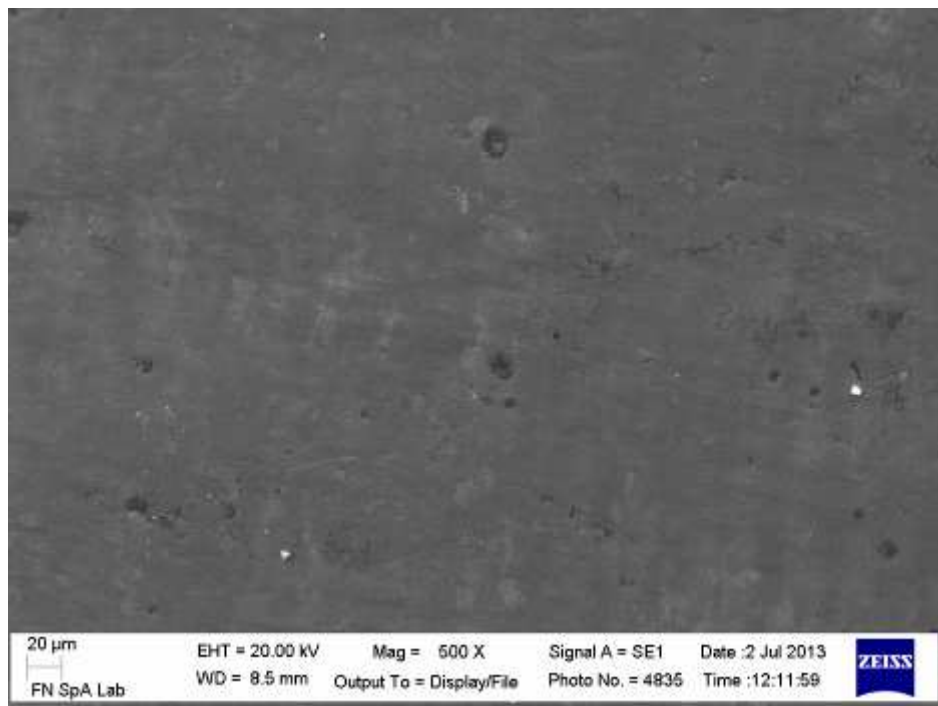
**Fig. 28 – Immagine al SEM lamina incrudita al 50% - superficie a 5000 X**



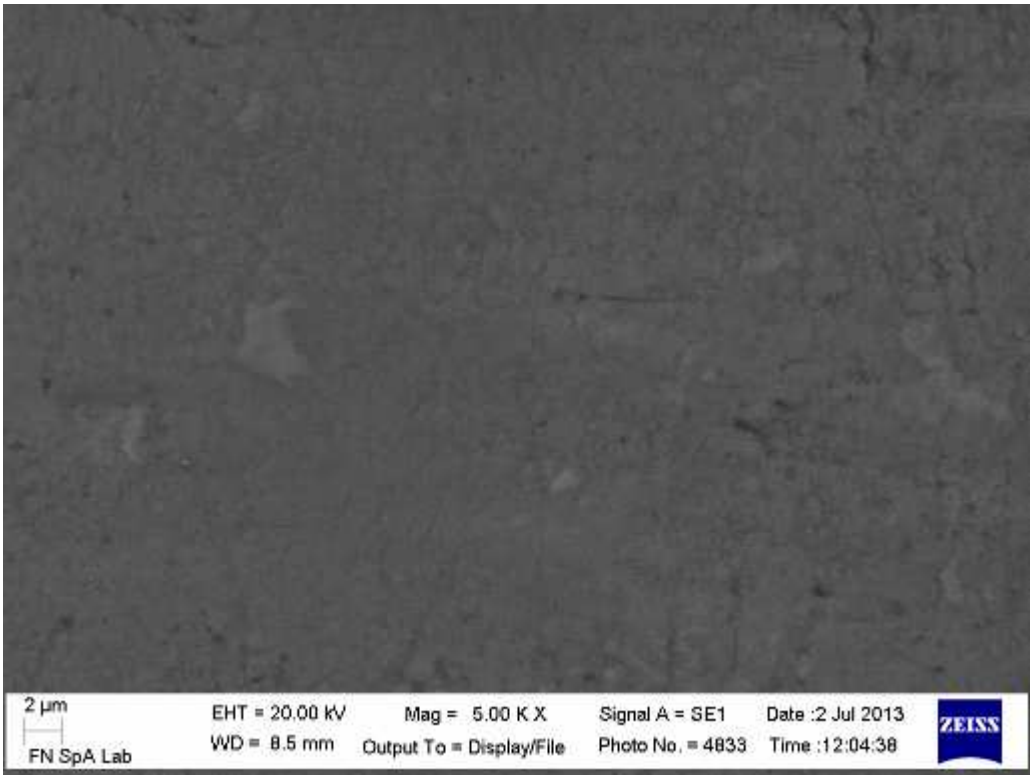
**Fig. 29 – Immagine al SEM lamina incrudita al 50% - sezione a 500 X**



**Fig. 30 – Immagine al SEM lamina incrudita al 50% - sezione a 5000 X**



**Fig. 31 – Immagine al SEM della lamina incrudita al 75% - superficie a 500 X**

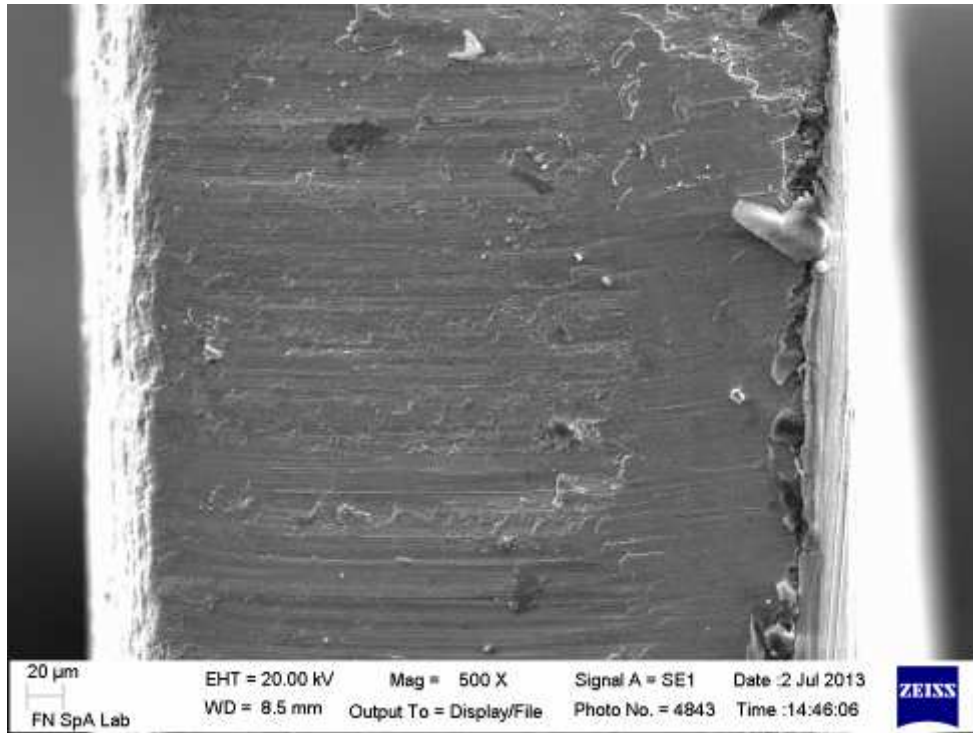


**Fig. 32 – Immagine al SEM della lamina incrudita al 75% - superficie a 5000 X**

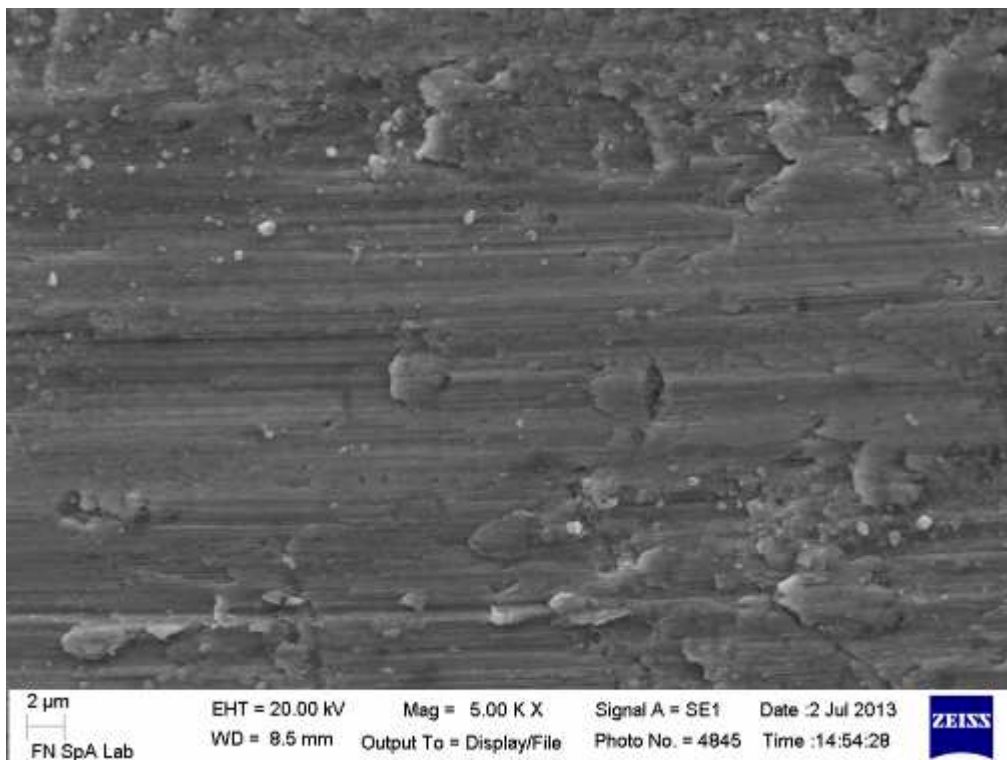


**Fig. 33 – Immagine al SEM della lamina incrudita al 75% - superficie a 500 X**

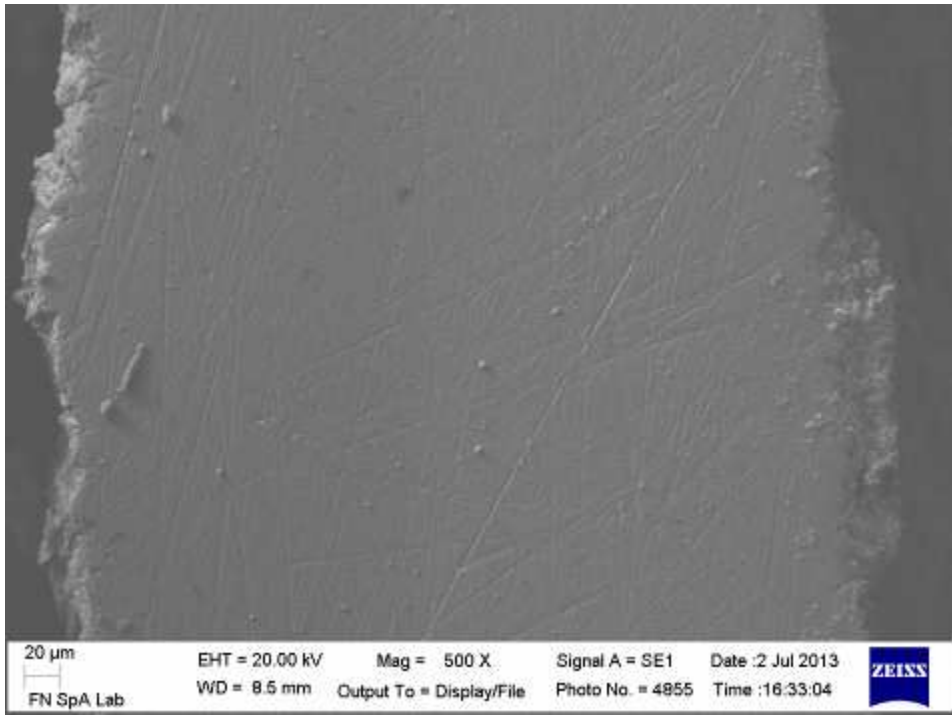




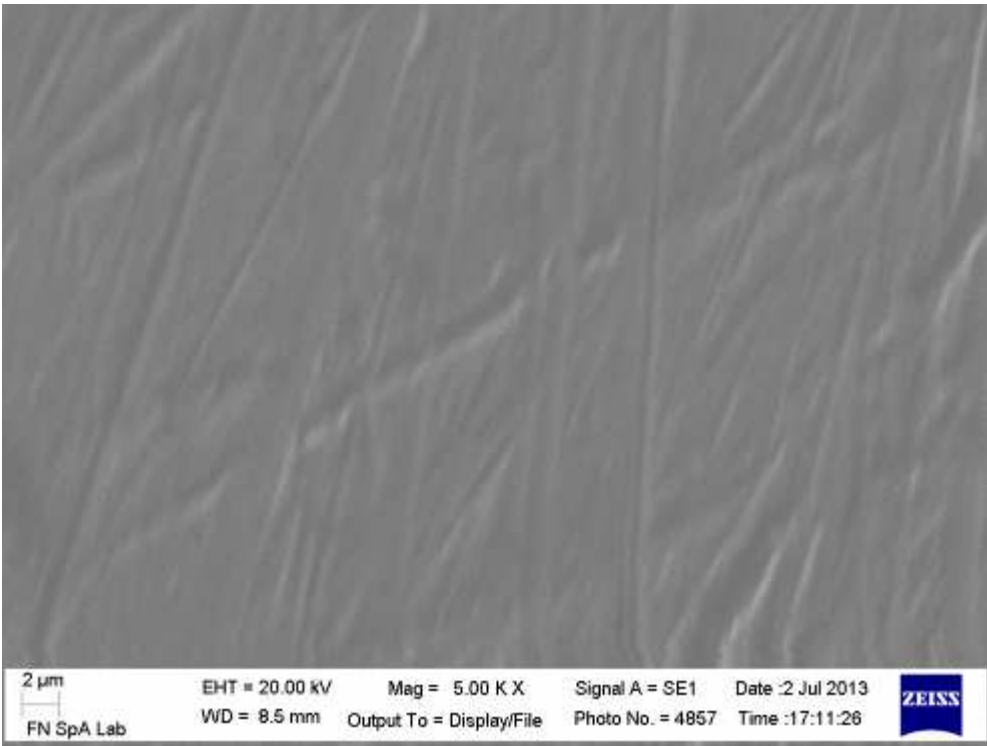
**Fig. 34 – Immagine al SEM della lamina incrudita al 75% - sezione a 500 X**



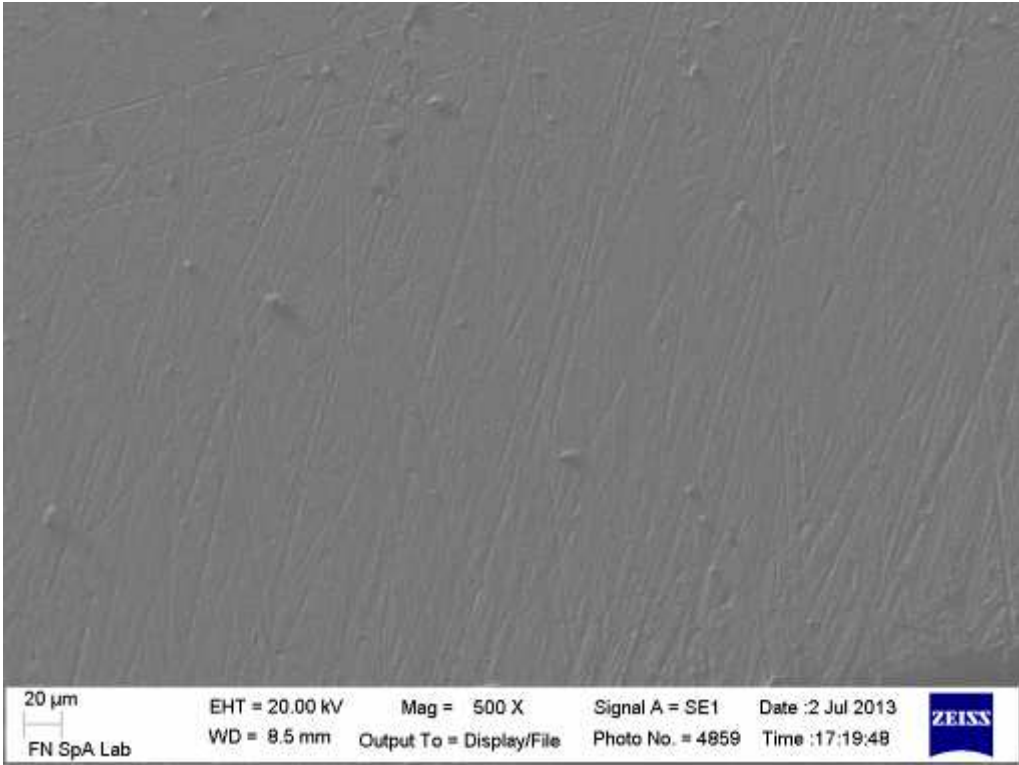
**Fig. 35 – Immagine al SEM della lamina incrudita al 75% - superficie a 5000 X**



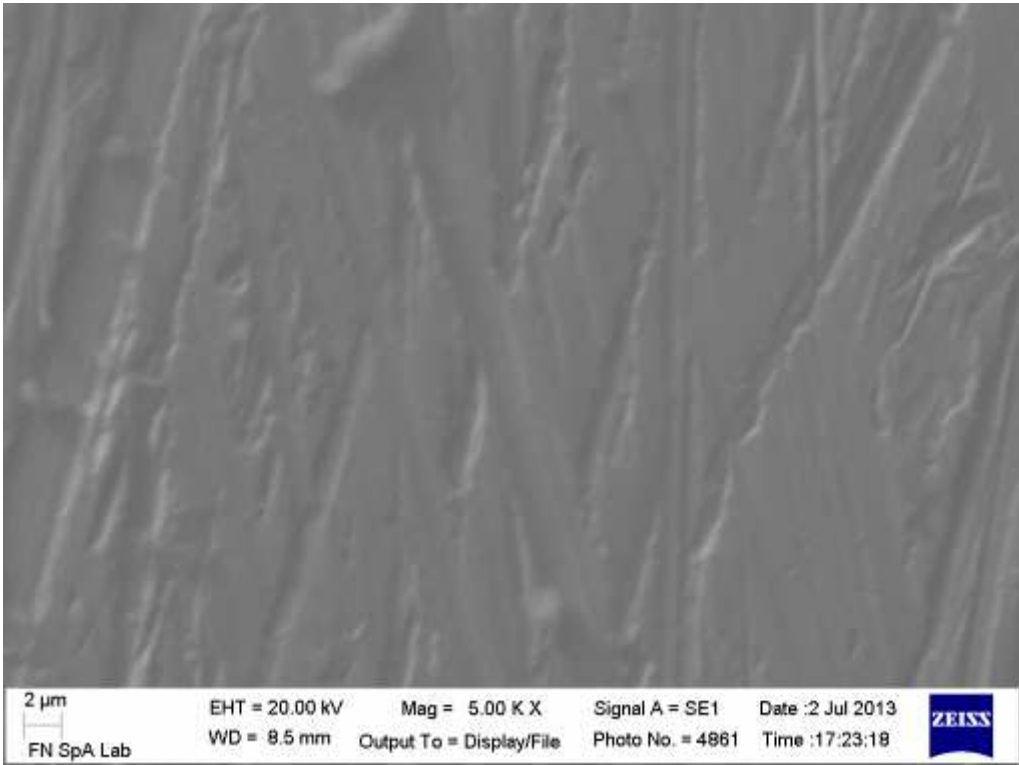
**Fig. 36 – Immagine al SEM della lamina incrudita al 50% e dopo solubilizzazione- 500 X**



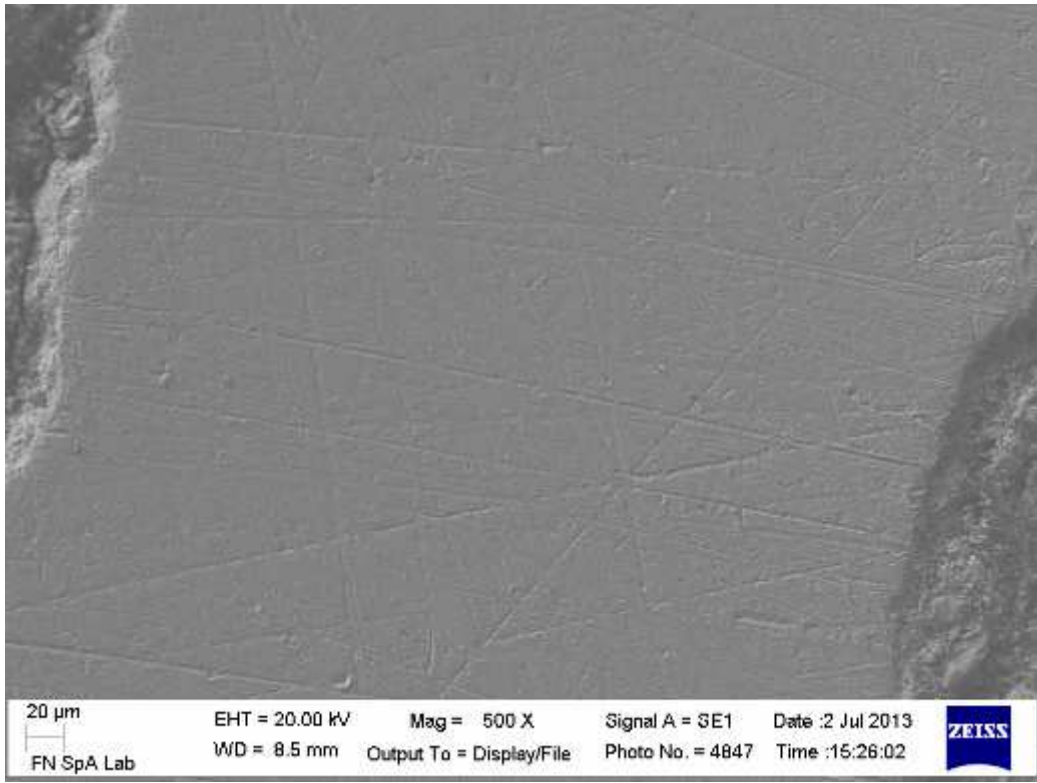
**Fig. 37 – Immagine al SEM della lamina incrudita al 50% dopo solubilizzazione - 5000 X**



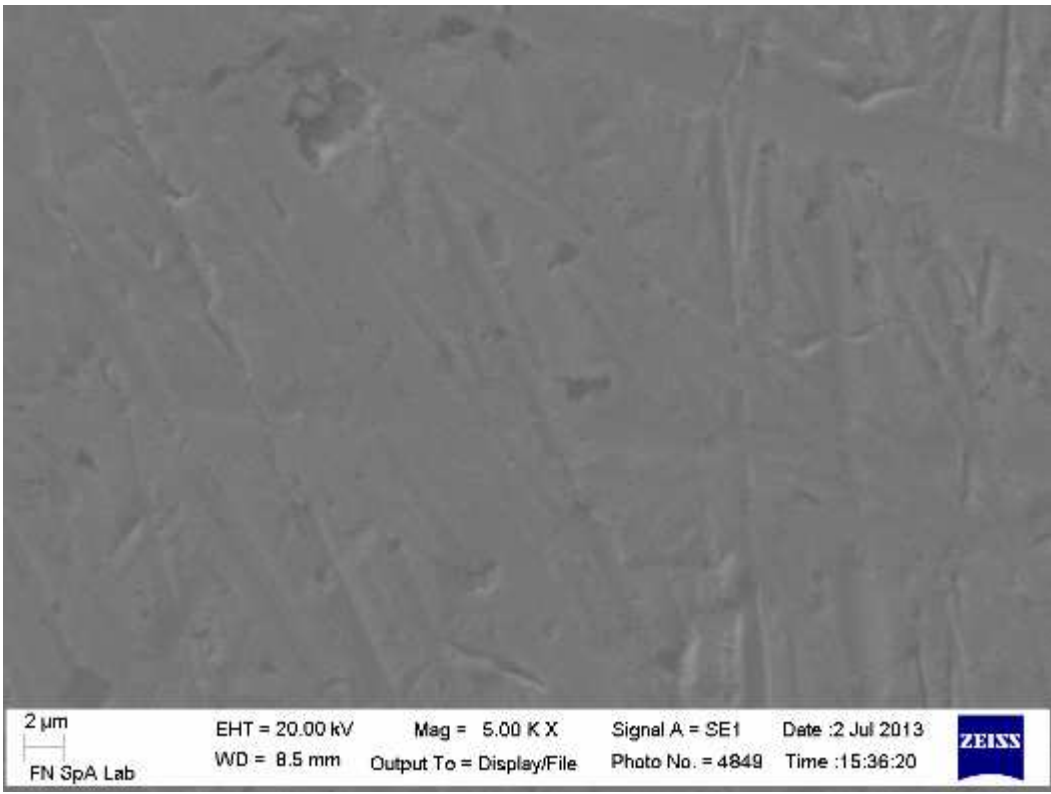
**Fig. 38 – Immagine al SEM della lamina incrudita al 75% dopo solubilizzazione - 500 X**



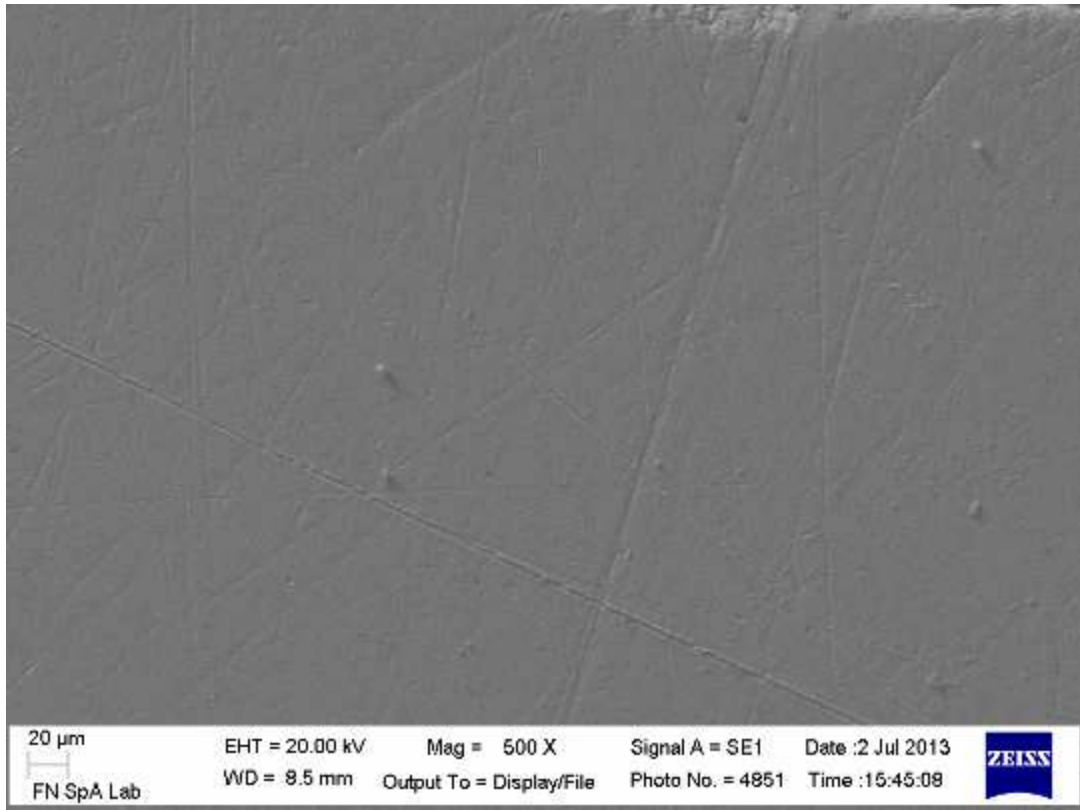
**Fig. 39 – Immagine al SEM della lamina incrudita al 75% dopo solubilizzazione- 5000 X**



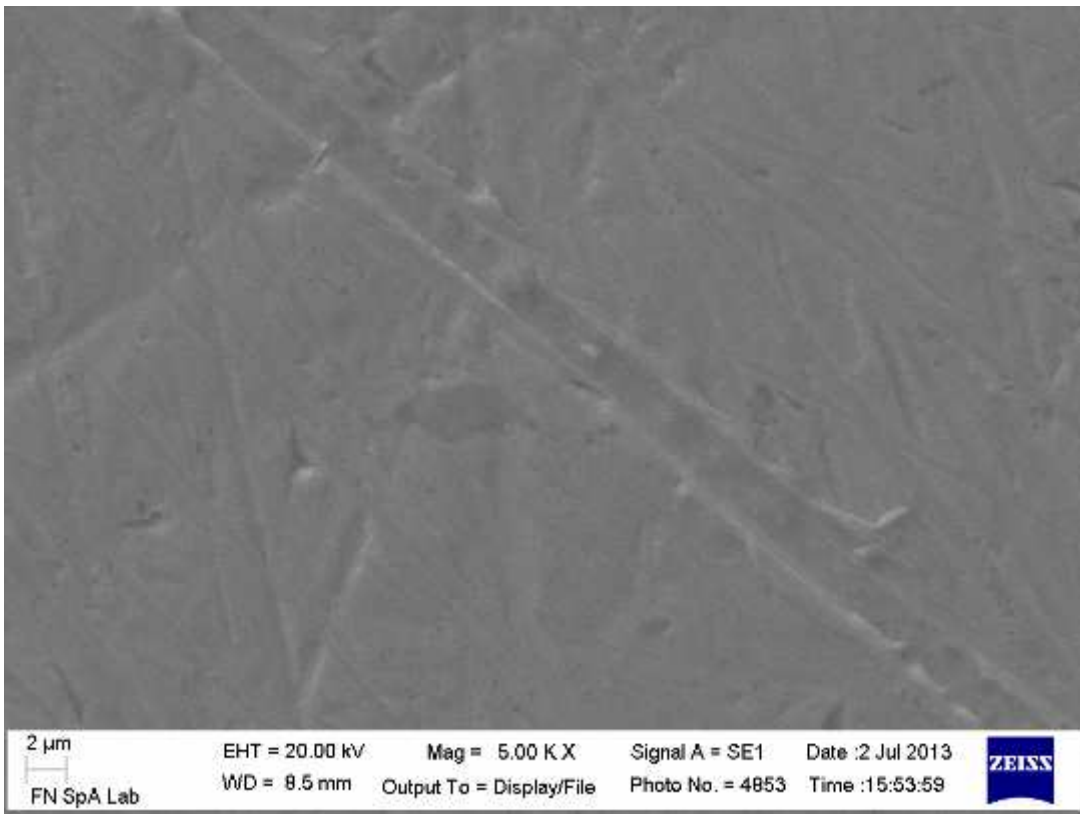
**Fig. 40 – Immagine al SEM della lamina incrudita al 50% dopo solub. e distensione- 500 X**




**Fig. 41 – Immagine al SEM della lamina incrudita al 50% dopo solub. e distensione - 5000 X**



**Fig. 42 – Immagine al SEM della lamina incrudita al 75% dopo solub. e distensione - 500 X**



**Fig. 43 – Immagine al SEM della lamina incrudita al 75% dopo solub. e distensione- 5000 X**

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    43    di :    63
--	---	---

Sulla base delle prove effettuate, stante il tempo ristretto per completare la sperimentazione, al fine di verificare la possibilità di effettuare le piegature previste, si è deciso di inviare alla ditta individuata per la foto-trancitura chimica una lamina incrudita al 50% tal quale come ricevuta dal CSM ed una, sempre appartenente allo stesso lotto di colata e di incrudimento, ma sottoposta a trattamento di solubilizzazione e distensione in FN: su entrambe le lamine sarebbe stato impresso lo stesso disegno. Ciò ha permesso di verificare il comportamento delle lamine così trattate alla foto-trancitura chimica, sia in termini di planarità delle stesse sia di natura del materiale in funzione del trattamento subito. Le lamine provenienti dal CSM, incrudite al 50%, si presentavano planari e di colore scuro, uniforme, con una certa freccia. Il trattamento termico di solubilizzazione effettuato in FN non consisteva in un'operazione molto semplice a causa della lunghezza della lamina stessa. A seguito del raffreddamento, anche se l'operazione era stata effettuata sotto copertura di gas inerte, si è formato uno strato di ossido che è stato rimosso meccanicamente mediante spazzola. Successivamente la lamina trattata è stata sottoposta a distensione a 500°C e ancora lucidata meccanicamente: si è ottenuta una lamina di colore grigio, più facilmente deformabile, anche se non perfettamente planare come quella prima del trattamento termico. Stante le difficoltà incontrate nel trattamento delle lamine lunghe, si è ipotizzato di trattare, dopo trancitura, i singoli componenti di griglia, valutando così anche eventuali deformazioni che sarebbero potute manifestarsi.

Prima dell'invio delle lamine alla ditta Benedetti, vi è stato uno scambio epistolare di disegni con FN (vedi allegati 9 e 10); in un primo momento, infatti, FN ha proposto un disegno che prevedeva la realizzazione di 7 componenti di griglia da una lamina (tenendo in considerazione la freccia della stessa e gli ingombri delle singole componenti); sulla base della valutazione operativa da parte della ditta Benedetti, si è visto come lo spazio fra le componenti dovesse essere maggiore, per permettere il taglio e che l'ottimale fosse ricavare 6 componenti (vedi disegno in allegato 10).

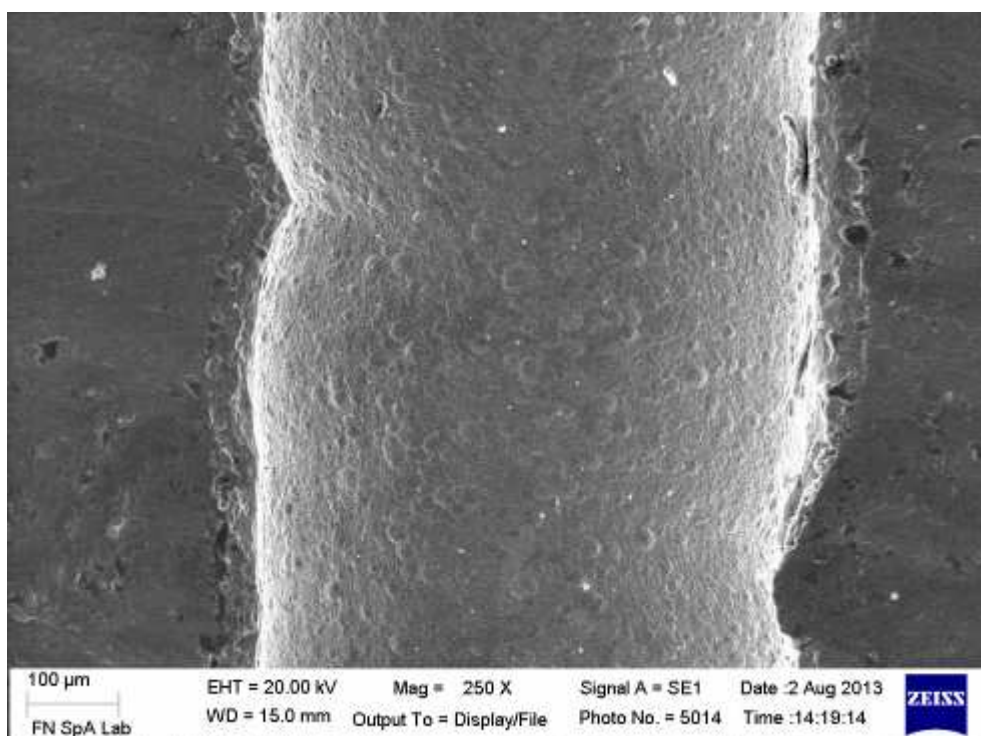
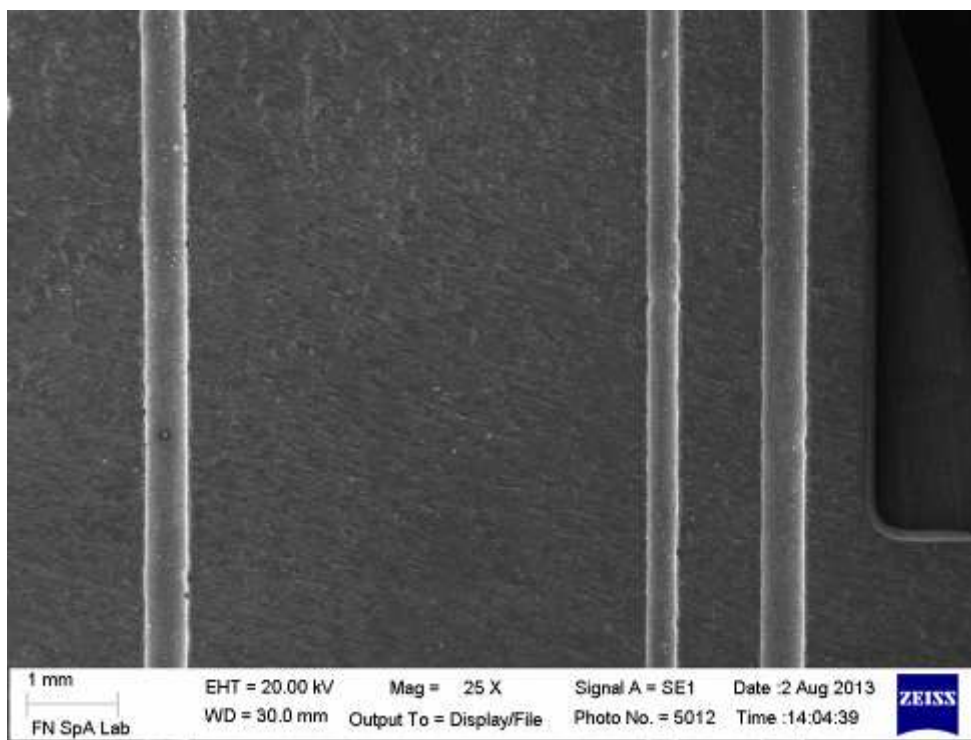
Prima di effettuare la foto trancitura sulle lamine inviate, la ditta Benedetti ha operato su un proprio materiale di prova (AISI 301), realizzando due lamine di prova; successivamente sono state processate anche quelle fornite da FN. Malgrado le diversità dei materiali in questione, in termini di durezza e planarità, l'operazione di foto-trancitura chimica è riuscita su tutte. In Figura 44 si riporta l'immagine delle lamine dopo foto-trancitura chimica.



**Fig. 44– Immagine delle lamine dopo foto-tranciatura chimica: a sx lamina incrudita al 50%, al centro lamina dopo trattamento di solubilizzazione e distensione, a dx lamina in AISI 301 di prova**

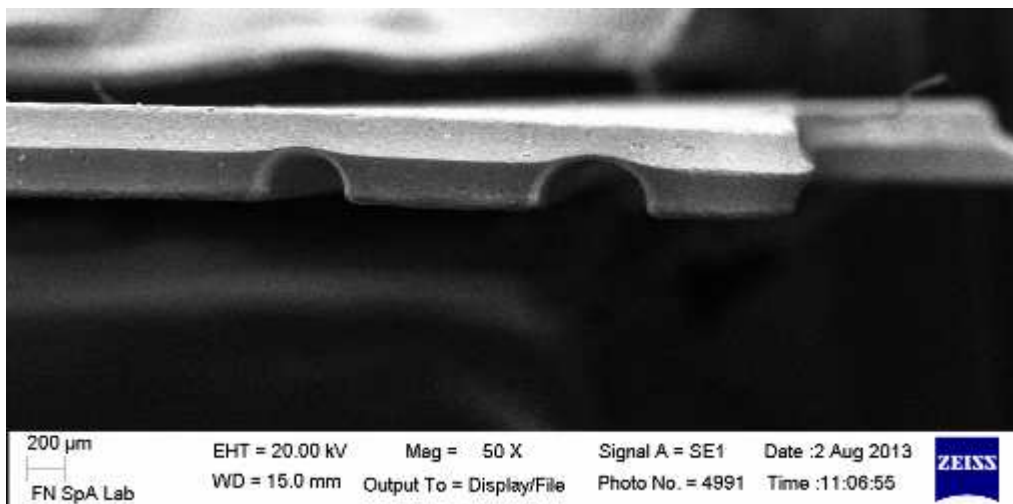
Le lamine sottoposte a foto-tranciatura chimica sono state analizzate al microscopio elettronico a scansione per verificare l'entità della profondità degli intagli realizzati per effettuare le piegature a 30° e 60° e lo stato del materiale nell'intorno di tali incisioni. Sicuramente questi intagli rappresentano un fattore di indebolimento del materiale (ricordiamo che lo spessore totale della lamina è di circa 0.5 mm, mentre la profondità degli intagli arriva anche a superare i 0.3 mm). Tali

intagli, necessari in questa prima parte delle prove di fattibilità per dare l'esatta posizione delle piegature da effettuare in manuale, saranno eliminati dal disegno delle componenti di griglia se queste verranno piegate con uno stampo apposito che terrà conto delle rispettive posizioni.

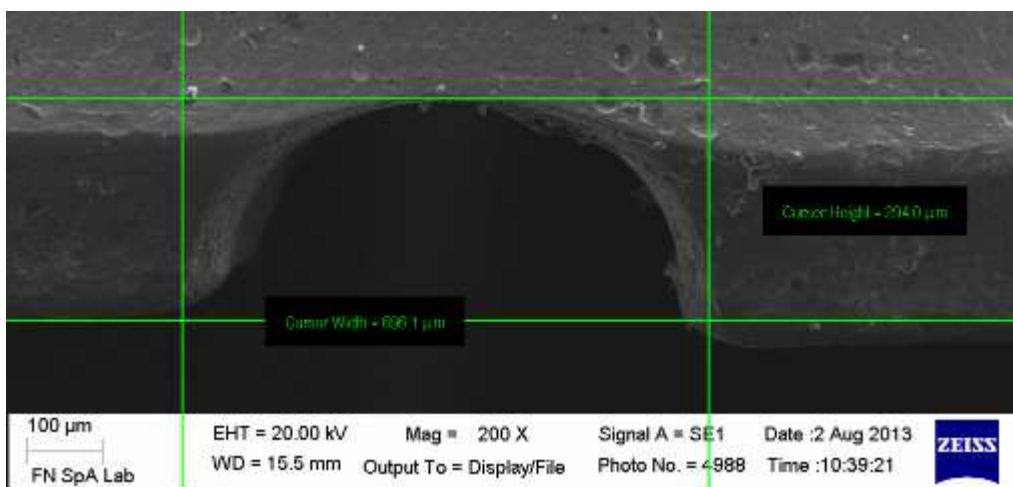


**Fig. 45 – Immagini al SEM della vista dall'alto delle incisioni per pieghe da 30° e 60° - lamina trattata**

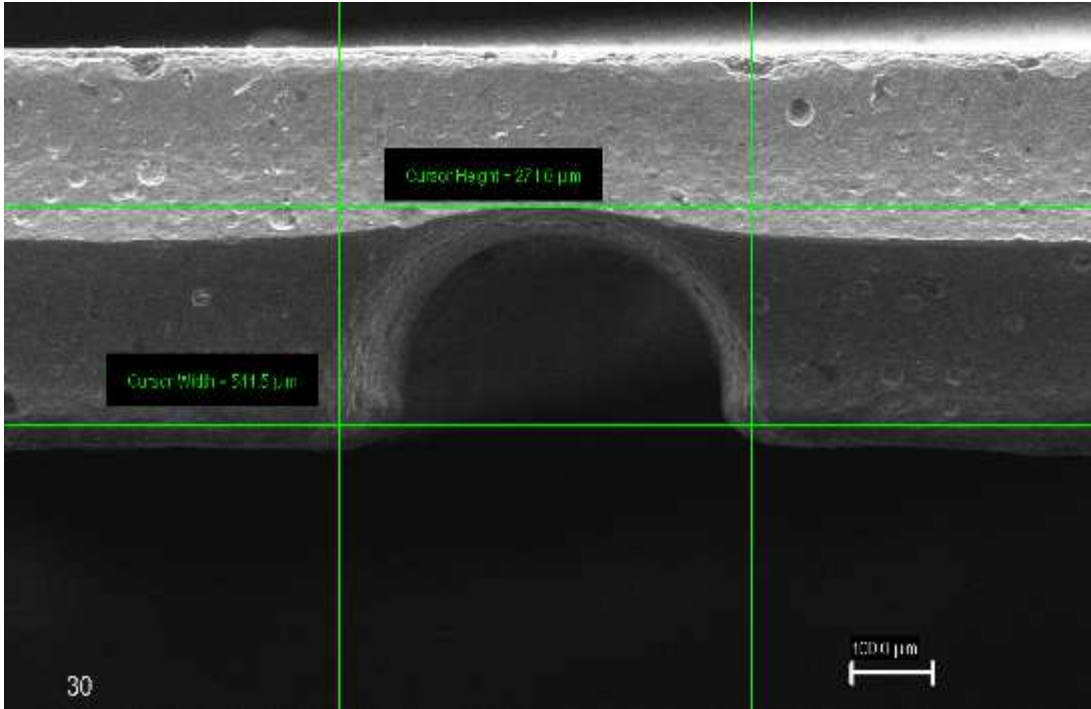




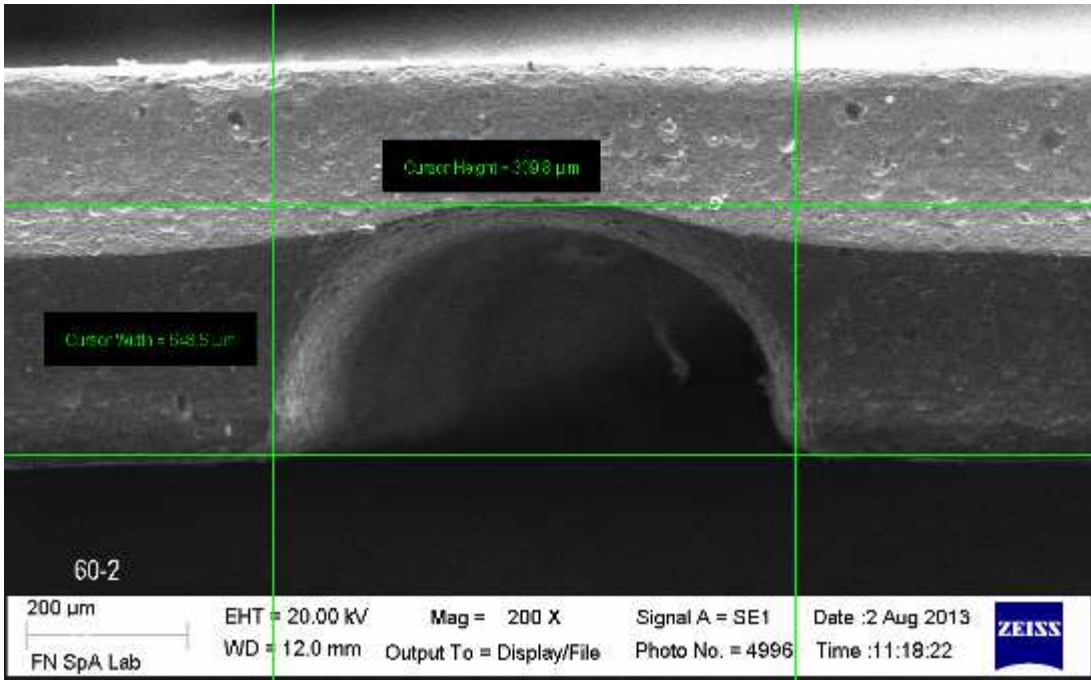
**Fig. 46 – Immagine al SEM della sezione con visione delle gole per pieghe da 30° e da 60° su lamina trattata**



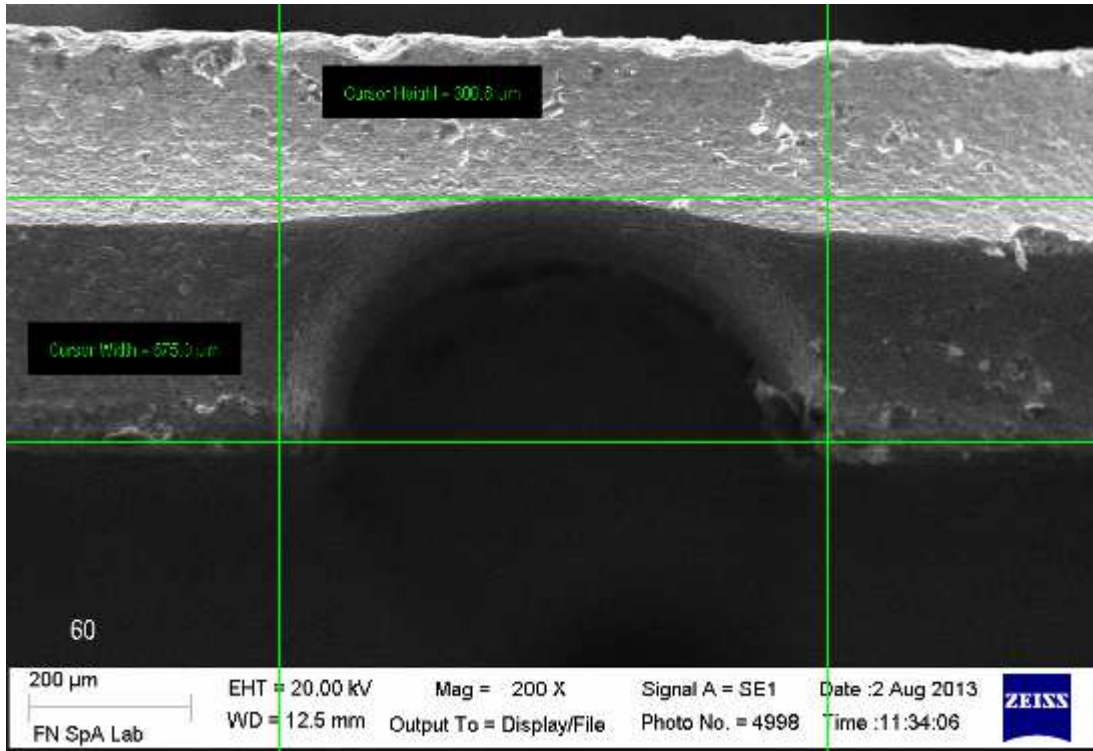
**Fig. 47 – Misura della larghezza e dell'altezza di una gola a 60° di lamina trattata**



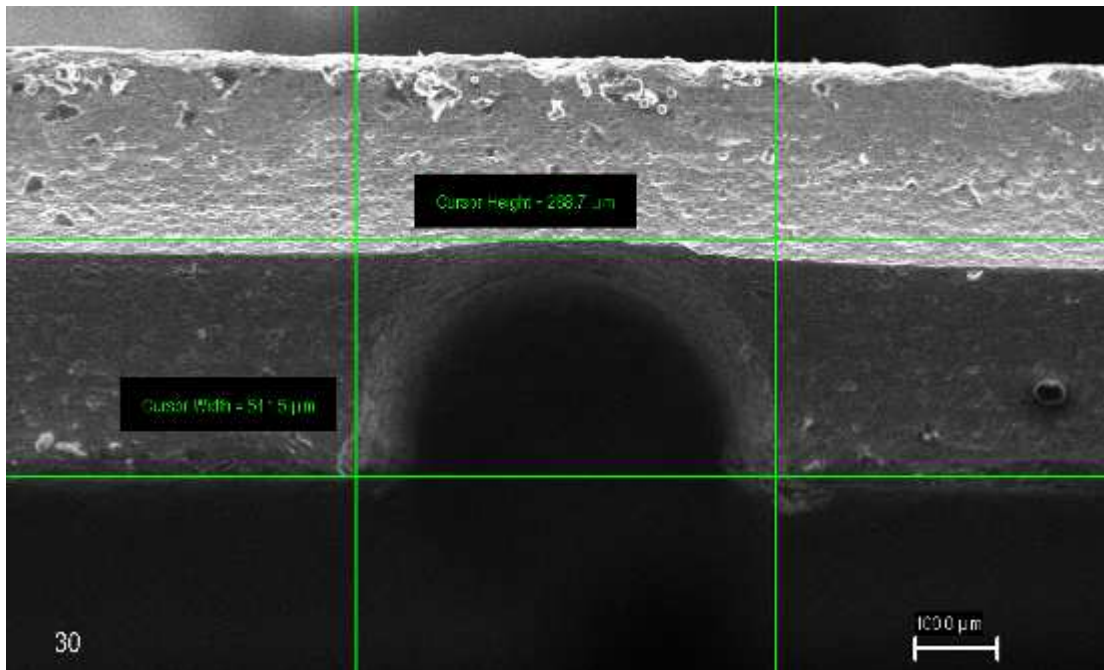
**Fig. 48 – Misura di una gola a 30° di lamina trattata**



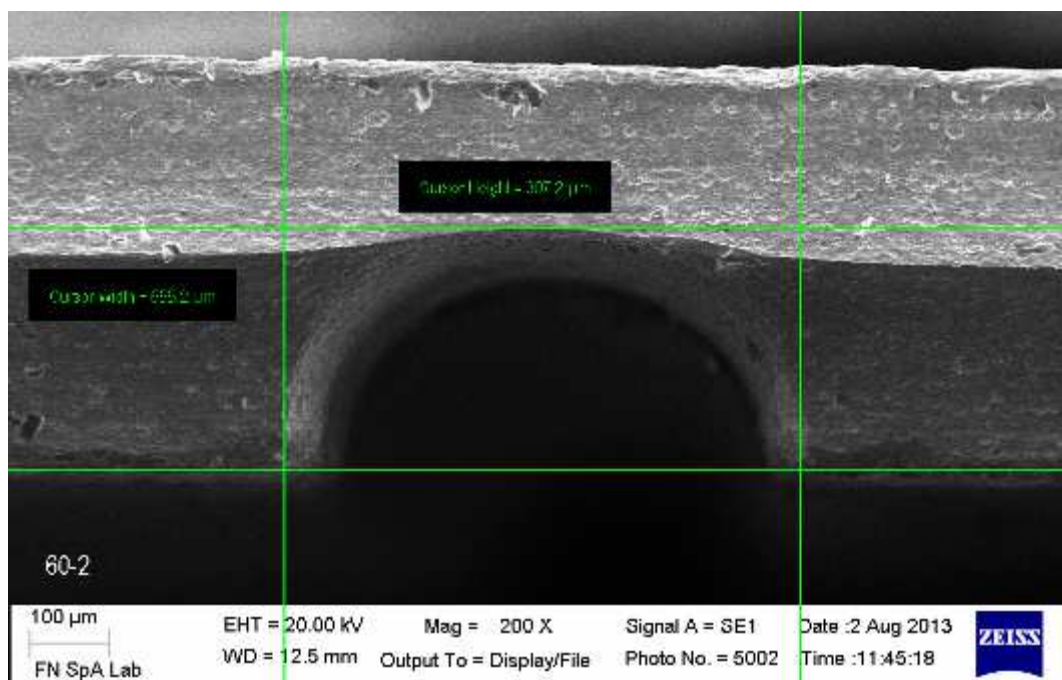
**Fig. 49 – Misura di un'altra gola a 60° di lamina trattata**



**Fig. 50 – Misura di una gola a 60° su lamina incrudita al 50% tal quale**



**Fig. 51 – Misura di una gola a 30° su lamina incrudita al 50% tal quale**



**Fig. 52 – Misura di una gola a 60° su lamina incrudita al 50% tal quale**

### **3.4.6 Effettuazione nicchie e piegature**

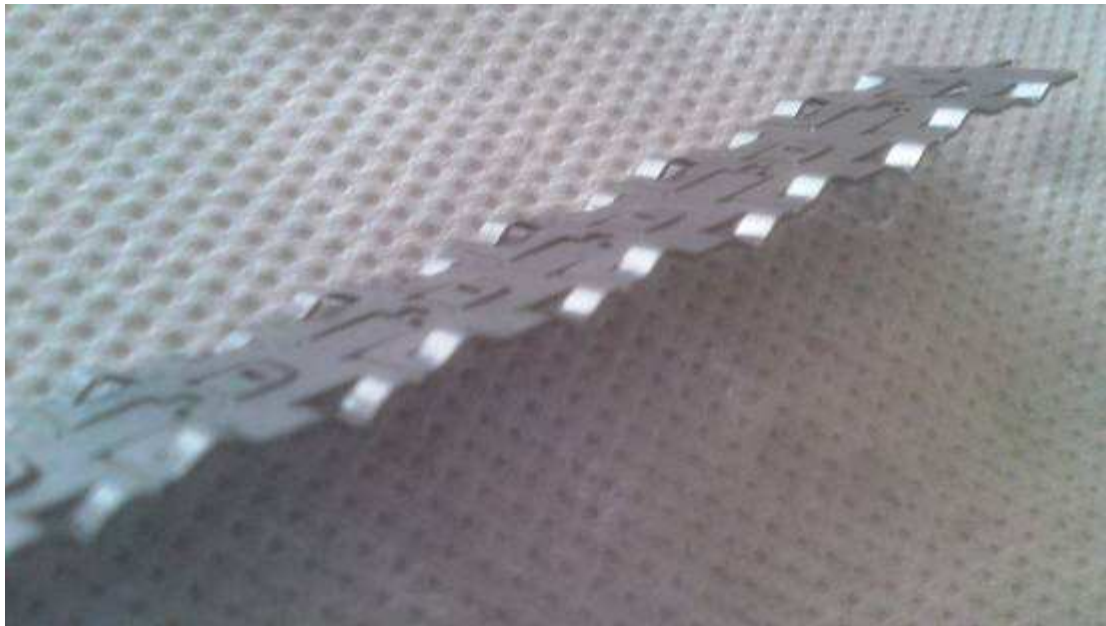
Come già indicato nei paragrafi precedenti, il ciclo di lavoro prevede dopo la fase di foto-tranciatura chimica quella di effettuazione delle nicchie, ossia dei punti fissi delle componenti della griglia. Tali nicchie si trovano a distanze ripetute modulari e possono essere ottenute inserendo le componenti foto- tranciate all'interno di uno stampo dal profilo sagomato ad hoc per ricavare contemporaneamente più coppie di nicchie alla volta. Al fine di testare la metodologia è stato realizzato per elettroerosione a filo lo stampo “triplo-punzone” già descritto al paragrafo 3.4.3. Con questo stampo, montato su una pressa idraulica, è stato possibile effettuare le nicchie a tre coppie la volta, spostando la lamina, una volta effettuata una pressata, in modo da generare altre coppie di nicchie alla distanza prestabilita. Nelle immagini seguenti si dà evidenza delle prove effettuate. Ovviamente, per la realizzazione di componenti in serie, o comunque se si richiede una produttività più elevata, è necessario realizzare uno stampo dotato di più sagomature al fine di ottenere più coppie di nicchie alla volta.



**Fig. 53 – Effettuazione delle coppie di nicchie con lo stampo triplo punzone**



**Fig. 54 – Esempio di componente di griglia a seguito della realizzazione nicchie (vista dall'alto)**




**Fig. 55 – Vista laterale di un componente di griglia a seguito della realizzazione delle nicchie**



**Fig. 56 – Confronto fra componente foto-tranciata e dopo realizzazione nicchie e piegature**

Successivamente alla fase di “realizzazione delle nicchie” si è proceduto con la piegatura manuale in corrispondenza delle linee incise a 30° o 60°, in funzione della posizione della piega nella porzione di griglia, a formare le pieghe, gli agganci e gli uncini che necessitano per vincolare una

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    52    di :    63
--	---	---

componente di griglia a quella successiva. Tale fase prevede, nel proseguo della sperimentazione, la realizzazione di due stampi appositi, per ciascuna componente di griglia, in modo da creare le piegature direttamente, con una certa precisione di posizionamento (dovuto alla sagomatura dello stampo) senza ricorrere all'incisione parziale sulle lamine delle posizioni stesse delle piegature e gli agganci ed uncini previsti.

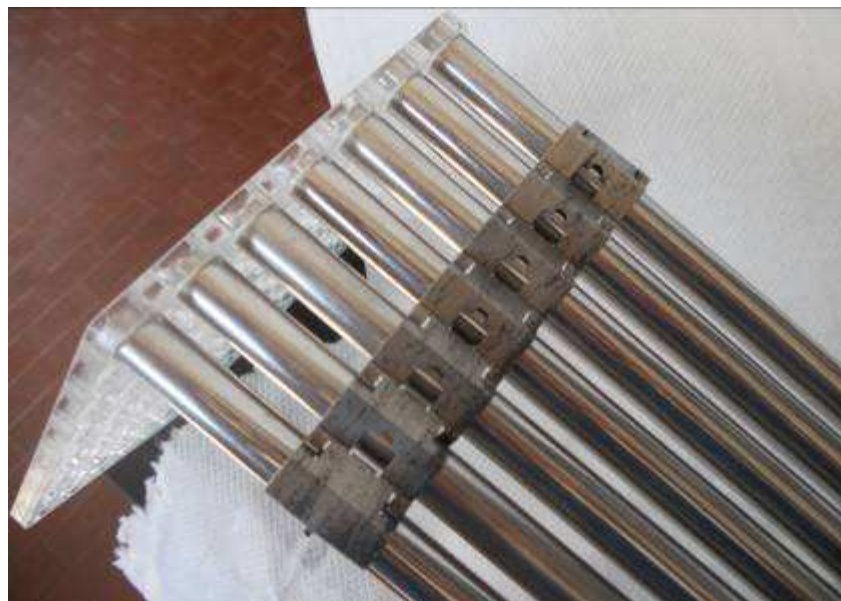
Le criticità emerse dalle prove di fattibilità risiedono, praticamente, nello stato di incrudimento/trattamento del materiale da piegare; occorre stabilire un trattamento che sia un giusto compromesso fra le richieste di specifica di mantenere la posizione delle barrette anche in piombo fuso e quelle di non infragilire il materiale al punto di non riuscire a piegarlo senza innescare cricche o rotture irreparabili.

### **3.4.7 Assemblaggio componenti**

Al fine di verificare la bontà della progettazione delle componenti della griglia, sono state effettuate prove di assemblaggio delle stesse componenti con le barrette simulanti le barre di combustibile. Per agevolare il posizionamento delle barrette di diametro 10.5 mm, sono stati realizzati due piatti esagonali in plexiglass, opportunamente forati ad ospitare 127 barrette (i 127 pin), come visibile in nelle figure 56 e 57. Partendo dalla componente 1 di griglia, che si appoggia su un lato della scatola esagonale e costituisce l'alloggiamento per la prima fila di barrette, si procede con l'inserimento della seconda componente curando di agganciare le due strip come visibile nelle figure seguenti. Successivamente, agganciata la seconda componente alla prima e verificato che le barrette restino in posizione grazie alle componenti di griglia assemblate, si aggiunge una fila di barrette e la successiva componente di griglia e così via. Le componenti di griglia agganciate sostengono le barrette che non si muovono e possono essere spostate in blocco (vedi figure 58 e 62).



**Fig. 56 – Particolare del piatto esagonale in plexiglass realizzato per mantenere in posizione distanziata le barrette all’atto del montaggio e visione degli uncini della prima componente di griglia che passano fra una barretta e l’altra in attesa della componente 2 della griglia cui agganciarsi.**



**Fig. 57 – Vista posteriore della componente di griglia 1 con barrette inserite**





**Fig. 58 – Prima fila di barrette bloccate dalle componenti di griglia 1 e 2**



**Fig. 59 – Fase di montaggio della seconda componente di griglia**



**Fig. 60 – Particolare dell’aggancio fra le componenti di griglia**



**Fig. 61 – Fase di montaggio con inserimento terza fila di barrette**



**Fig. 62 – Vista del fascio parziale che è bloccato dalle componenti di griglia agganciate fra loro**




**Fig. 63 – Posizionamento entro la scatola esagonale**



**Fig. 64 – Altra vista del posizionamento entro la scatola esagonale**




**Fig. 65 – Componenti nella fase di montaggio del mock-up.**

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    58    di :    63
--	---	---

#### 4.0 Conclusioni


A conclusione di questo rapporto che costituisce il deliverable LP2.b.2\_a dell'Accordo di collaborazione ENEA – FN (ambito PAR 2012) per un'attività dal titolo “Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante e sulla fabbricazione di componenti prototipici”, si può affermare che in FN:

- sono stati redatti i documenti relativi alla gestione in qualità della commessa (diagramma di flusso, piano di qualità, piano di fabbricazione e controllo);
- sulla base delle indicazioni di input da parte ENEA/Ansaldo Nucleare, sono state condotte le attività di progettazione della griglia spaziatrice per la realizzazione del mock-up di elemento di combustibile per reattore LFR in geometria esagonale (tipo ALFRED);
- sono stati individuati i materiali per la scatola esagonale, per le barrette simulanti le guaine contenenti il combustibile e per la griglia spaziatrice;
- sono state progettate e realizzate componenti di attrezzature necessarie sia per coadiuvare/validare la progettazione effettuata, sia per eseguire dei passi di processo (piegature);
- sono state controllate, dal punto di vista dimensionale e visivo, le lamine in 15 15 Ti da impiegare per la realizzazione delle componenti della griglia;
- sono state effettuate prove preliminari per valutare le caratteristiche di durezza e di lavorabilità di tali lamine;
- sono stati valutati i trattamenti termo-meccanici da effettuare sui materiali identificati per la griglia spaziatrice al fine di ottenere il miglior compromesso fra le caratteristiche di resistenza alla piegatura ed alla possibilità di ottenere l'“effetto molla” durante l'esercizio, soprattutto nelle condizioni di temperatura richieste;
- è stato valutato il ciclo di lavoro per ottenere le componenti della griglia e sono state individuate le tecniche di lavorazione più idonee alle specifiche geometriche di tali componenti; in particolare, il ciclo di lavoro consta delle seguenti fasi:
  1. segnatura delle lamine per contornare i rettangoli da cui saranno ricavate le componenti della griglia;
  2. foto - tranciatura chimica di più componenti di griglia per lamina in funzione della lunghezza e dell'area occupata dai singoli componenti, con effettuazione di tagli (asole e linguette);

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    59    di :    63
--	---	---

- 4 deformazione mediante pressa attrezzata con stampo apposito per ottenere supporti fissi (nicchie);
  - 5 piegatura del lamierino, mediante stampo apposito, per ottenere l'andamento della componente di griglia che segue il posizionamento delle barrette secondo la geometria stabilita
  - 6 piegatura finale per ottenere agganci ed uncini con ulteriore stampo appositamente progettato.
- sono stati realizzati i disegni esecutivi delle 14 componenti della griglia;
  - sono state effettuate prove di fattibilità realizzando alcuni prototipi di componenti di griglia mediante foto – tranciatura chimica e successiva realizzazione di nicchie, piegature, agganci ed uncini;
  - i prototipi di componenti di griglia sono stati assemblati su tubi Ø 10.5 mm, appositamente tagliati a misura e disposti secondo la geometria prevista dalla configurazione ALFRED.

Dalle prove effettuate sono state ricavate informazioni utili sia per un'ulteriore semplificazione della griglia nell'ottica dell'assemblaggio con guaine contenenti materiale radioattivo e delle problematiche che possono insorgere nell'atto del calettamento del fascio tubiero nel tubo esagonale, sia per quanto riguarda la sperimentazione di ulteriori prove circa i trattamenti da effettuare sui materiali base individuati per la griglia al fine di garantire la formabilità delle piegature/nicchie e le caratteristiche meccaniche in temperatura che permettono di mantenere le barrette di combustibile nella loro posizione anche in presenza di piombo fuso. La sperimentazione può continuare con la progettazione e realizzazione di un banco di assemblaggio e delle attrezzature necessarie per la realizzazione delle componenti di griglia a livello semi-industriale.

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    60    di :    63
--	---	---

## **Appendice: curriculum gruppo di lavoro**

### **Ghisolfi Enrica**

La Dottoressa Ghisolfi ha conseguito la Laurea in Fisica presso l'Università degli Studi di Pavia nel 1992 e lavora per la FN spa dal 1993. Attualmente ricopre la posizione di Ricercatore Senior in qualità di Responsabile del Laboratorio Metrologico e dell'Assicurazione della Qualità svolgendo attività di ricerca su materiali innovativi.

All'interno dello specifico Contratto ENEA-FN ha svolto le attività di responsabile dell'accordo per FN coordinando le attività sperimentali ed i controlli.

### **Repetto Carlo**

Il Signor Repetto ha conseguito il Diploma di perito meccanico nel 1976 ed è stato assunto presso FN spa nel 1979 come Tecnico addetto allo sviluppo di processi speciali. E' stato responsabile dell'Ufficio Tecnico e officina di FN sino al 2012.

All'interno dello specifico Contratto ENEA-FN, in qualità di collaboratore esterno, ha svolto le attività di progettazione.

### **Porotto Germano**


Il Signor Porotto ha conseguito il titolo di Attrezzista Meccanico presso l'Istituto Professionale INAPLI di Novi Ligure (AL) ed è dipendente della FN spa dal 1978 come Operatore di Produzione nel campo nucleare. Attualmente ricopre il ruolo di Responsabile del Settore Sviluppo Processi e Manutenzione.

All'interno dello specifico Contratto ENEA-FN ha svolto le attività di responsabile sviluppo processi e manutenzione, collaborando all'individuazione dei materiali e dei trattamenti termici su quest'ultimi.

### **Timo Maurizio**

Il Signor Timo ha conseguito il Diploma di Maturità di Liceo Artistico ed è assunto presso FN spa dal 2006 come Tecnico addetto al supporto della ricerca e alle lavorazioni meccaniche e idrauliche.

All'interno dello specifico Contratto ENEA-FN ha svolto le attività di supporto operativo allo sviluppo processi e manutenzioni meccaniche, collaborando alla realizzazione di particolari di officina ed al settaggio delle presse impiegate.

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    61    di :    63
--	---	---

### **Cuccuru Gian Luca**

Il Signor Cuccuru ha conseguito il titolo di studio di Perito elettromeccanico ad indirizzo navale ed è assunto presso FN spa dal 2002 nell'ambito dell'officina per lavorazioni meccaniche di elettroerosione e con utensili specifici.

All'interno dello specifico Contratto ENEA-FN ha svolto le attività di supporto operativo allo sviluppo processi e manutenzioni meccaniche, collaborando alla realizzazione di stampi.

### **Mannarino Loredana**

La Dottoressa Mannarino è laureata in Fisica presso l'Università degli Studi di Pavia e lavora presso la FN spa dal 2006 occupandosi di attività di studio e ricerca per la produzione di ceramici mediante tape casting e delle analisi di caratterizzazione chimico-fisiche.

All'interno dello specifico Contratto ENEA-FN ha svolto principalmente analisi di laboratorio (SEM e EDS).

### **Ferrari Elena**

L'ing. Ferrari si è laureata in Ingegneria Chimica nel 2007 presso l'Università degli Studi di Genova ed è stata assunta in FN nel 2007. Attualmente ricopre la posizione di Ricercatore Senior in qualità di Responsabile del Laboratorio Compositi e analisi chimico-fisiche.


All'interno dello specifico Contratto ENEA-FN ha svolto principalmente attività di laboratorio di supporto allo sviluppo sperimentale.

### **Naticchioni Valentina**

La Dottoressa Naticchioni è laureata in Chimica ed ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in Processi Chimici Industriali presso l'Università degli Studi di Roma La Sapienza. Assunta dalla FN spa dal 2012 come Ricercatore si è occupata di analisi di caratterizzazione ed attività di ricerca su materiali per applicazioni energetiche e compositi.

All'interno dello specifico Contratto ENEA-FN ha svolto le attività di ricerca e sviluppo ed analisi di laboratorio.



 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  Pag. :    62    di :    63
--	---	---

**Mirabelli Fabrizio**

Il Signor Mirabelli ha conseguito il Diploma di Maturità di Tecnico Commerciale e lavora presso la FN spa dal 2001 occupandosi di attività in qualità di Tecnico di Processo e Addetto ai controlli del Laboratorio Metrologico.

All'interno dello specifico Contratto ENEA-FN ha svolto le attività di laboratorio, in particolare controlli dimensionali e metrologici.

**Pappadà Antonio**

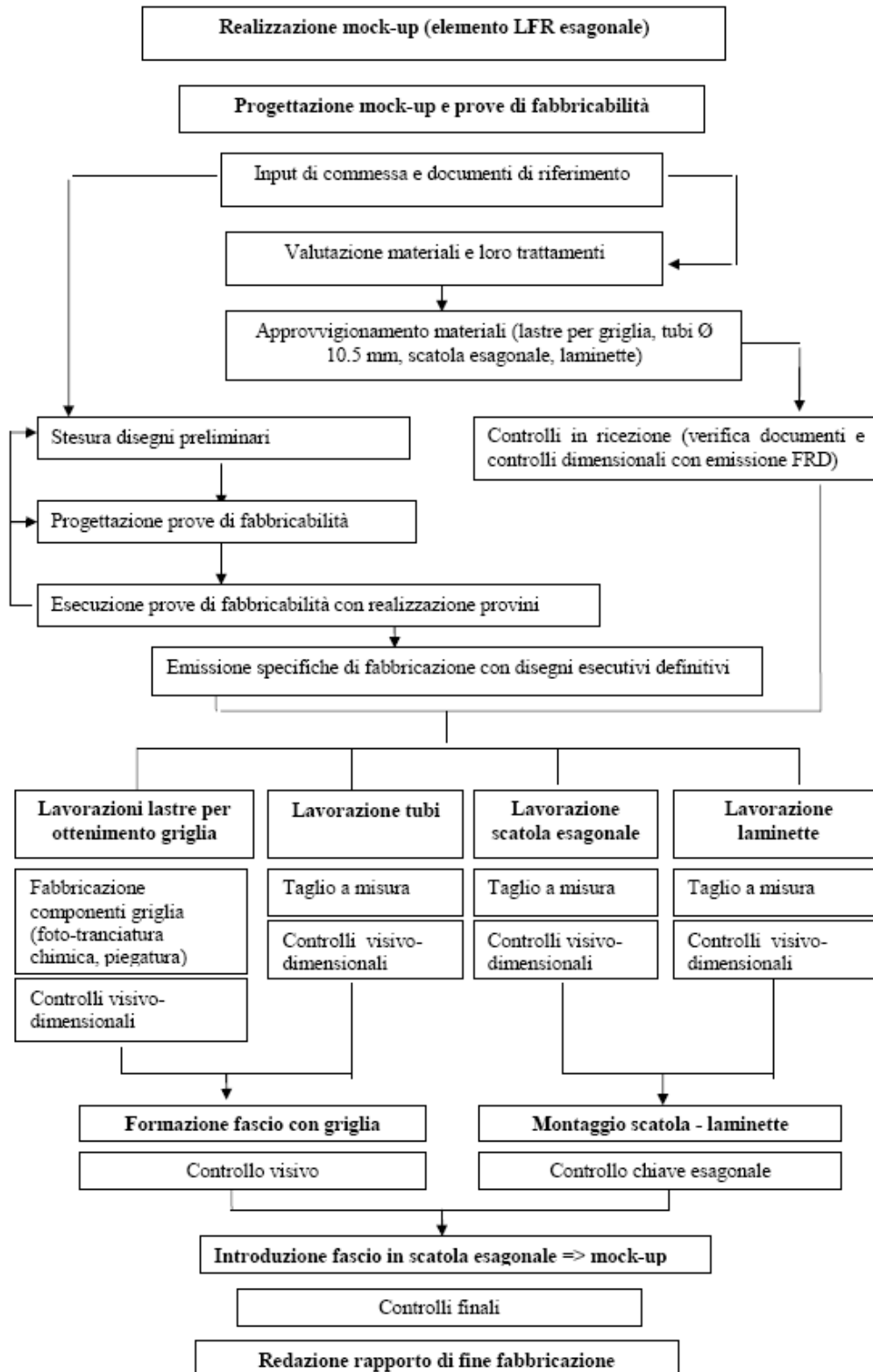
Il Signor Pappadà è assunto presso la FN spa dal 2007 in qualità di Tecnico di Processo e Addetto ai trattamenti termici.

All'interno dello specifico Contratto ENEA-FN ha svolto le attività di supporto operativo allo sviluppo processi.




**Allegato 0**

**Diagramma di flusso**






 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI IDENTIFICAZIONE</b> LAM 056 R 393	Rev. 0
		<b>ALLEGATI</b>

**Allegato 2**

**Piano di fabbricazione e controllo – ASQ 056 Q 132 rev.1**

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	UNITÀ ORGANIZZATIVA	SOTTOCOMMESSA / CENTRO	TIPO	N° PROGRESSIVO
	<b>ASQ</b>	<b>056</b>	<b>Q</b>	<b>132</b>
CLASSE DI PROGETTAZIONE	CLASSE DI RISERVATEZZA	CAT. DI ARCHIVIAZIONE	UNITÀ DI PREPARAZIONE	PAG.: 1
AQ	II	CII	ASQ	DI: 18
<b>ACCORDO DI PROGRAMMA MSE- ENEA PAR 2012</b>  <b>TITOLO :</b> Accordo di Collaborazione ENEA- FN per “Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante e sulla fabbricazione di componenti prototipici”  <b>PIANO DI FABBRICAZIONE E CONTROLLO</b>				
<b>LISTA DI DISTRIBUZIONE INTERNA</b>  PRE/AD        Dr.sa S. Baccaro ASQ/LAM      Dr.sa E. Ghisolfi UTR/SPM     Sig. G. Porotto Archivio		<b>LISTA DI DISTRIBUZIONE ESTERNA</b>  ENEA Ing. M. Tarantino		
	Descrizione	REDAZIONE	APPROVAZIONE	AUTORIZZAZIONE
		08   07   13	09   07   13	09   07   13
1	Inserito H point e ispezioni ENEA/ANN	E. Ghisolfi <i>E. Ghisolfi</i>	S. Baccaro <i>S. Baccaro</i>	S. Baccaro <i>S. Baccaro</i>
		24   04   13	30   04   13	30   04   13
0	Emissione	E. Ghisolfi <i>E. Ghisolfi</i>	S. Baccaro <i>S. Baccaro</i>	S. Baccaro <i>S. Baccaro</i>
<small>Il presente documento è RISERVATO ed è proprietà di FN. Esso non sarà mostrato a terzi né sarà utilizzato per scopi diversi da quelli per i quali è stato trasmesso.</small>				

 <p><b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI</p>	<p><b>SIGLA DI IDENTIFICAZIONE</b></p> <p>LAM 056 R 393</p>	<p>Rev. 0</p> <p>ALLEGATI</p>
---	---	-------------------------------

**Allegato 3**

**Disegni dei componenti della griglia**





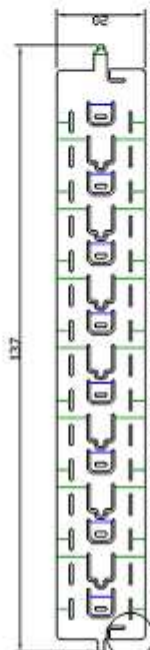
-Componente 2 Vista frontale dopo stampaggio e piegatura



particolare profilo di piegatura  
 finale per aggancio griglia in  
 posizione all'interno  
 dell'esagono (Scala 2)

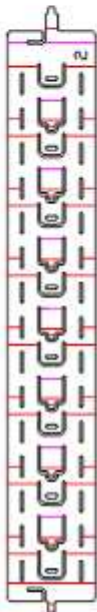


-Sviluppo sul piano per taglio chimico



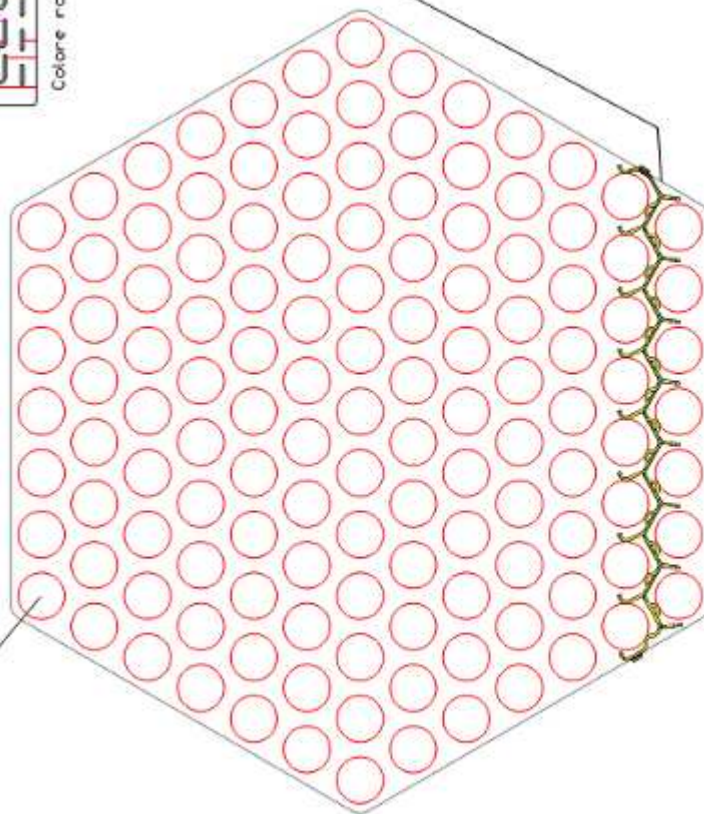
Colore verde: posizione centrale piego 60° Colore blu: posizione centrale piego 30°

SPESORE LAMINA: 0,35 mm



Colore rosso: posizione centrale piego 60° Colore magenta: posizione centrale piego 30°

FASCIO  
 BARRETTE



POSIZIONE COMPONENTE 2  
 al MONTAGGIO GRIGLIA

SCALA 1 : 1

POS	DESCRIZIONE	N. PEZZI	MATERIALE	NOTE	ESCU. IN
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					
50					
51					
52					
53					
54					
55					
56					
57					
58					
59					
60					
61					
62					
63					
64					
65					
66					
67					
68					
69					
70					
71					
72					
73					
74					
75					
76					
77					
78					
79					
80					
81					
82					
83					
84					
85					
86					
87					
88					
89					
90					
91					
92					
93					
94					
95					
96					
97					
98					
99					
100					

**Beneclamping**  
**Alceasbarile**  
**Italy**

**FN S.p.A.**  
 NUOVE TECNOLOGIE  
 E SERVIZI AVANZATI

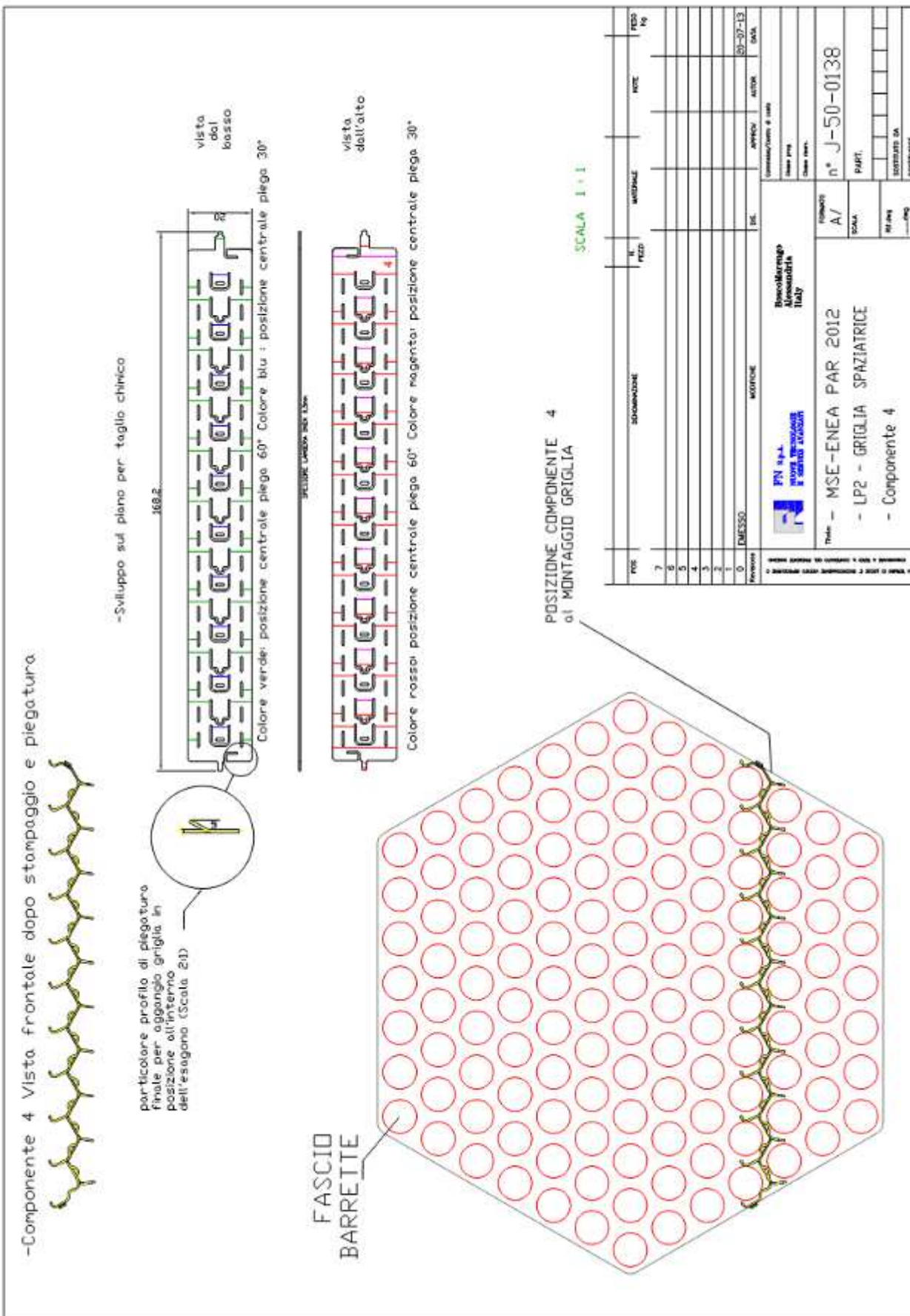
MODELLO: MSE-ENEALPAR 2012  
 CODICE: LP2 - GRIGLIA SPAZIATRICE  
 COMPONENTE: Componente 2

FORMATO: A/  
 SCALA: PART.  
 N°: n° J-50-0136

APPROVATO: 20-07-13  
 AUTORE:

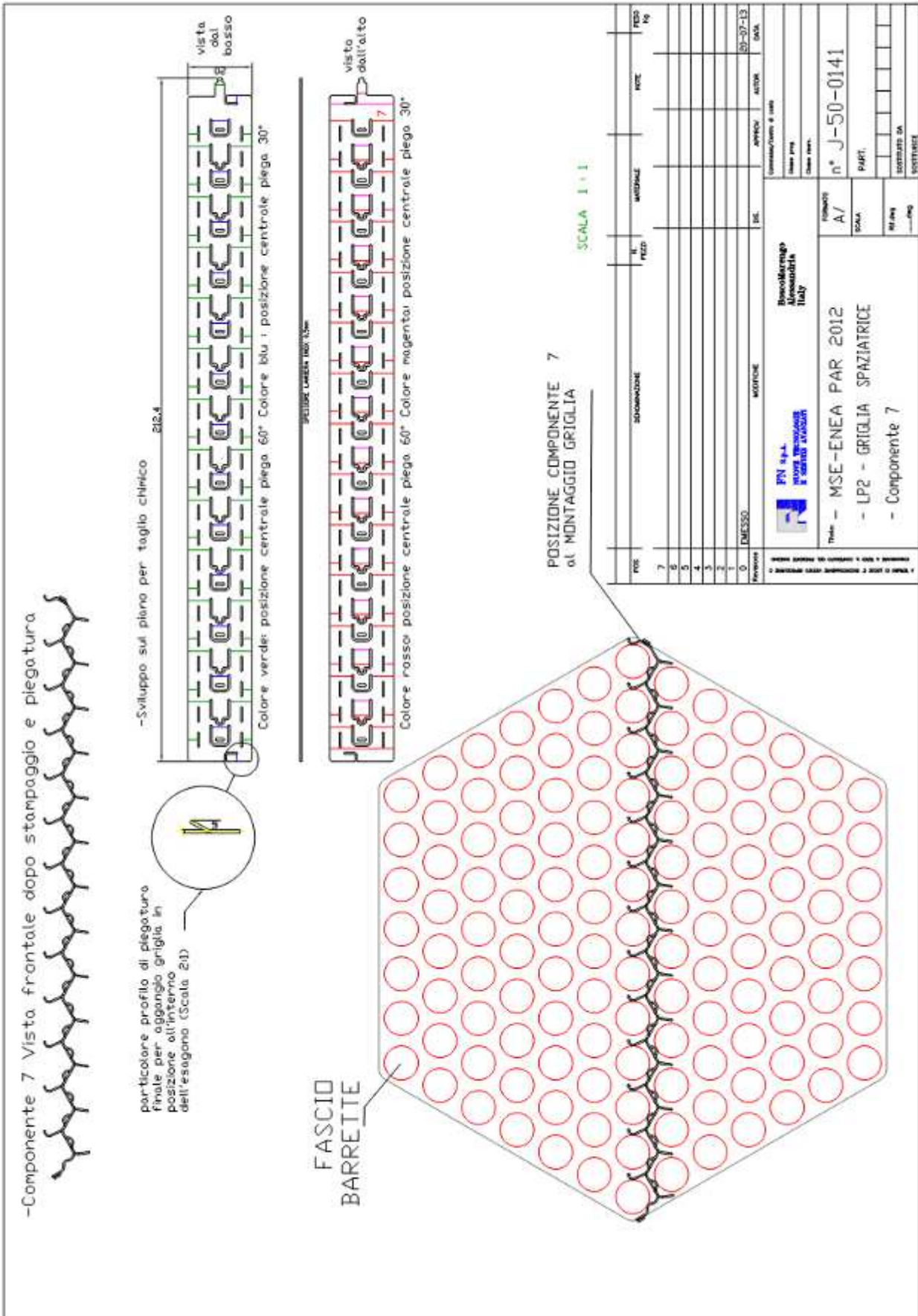












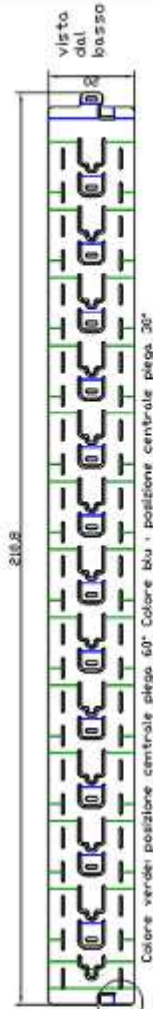
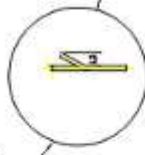


-Componente 8 Vista frontale dopo stampaggio e piegatura



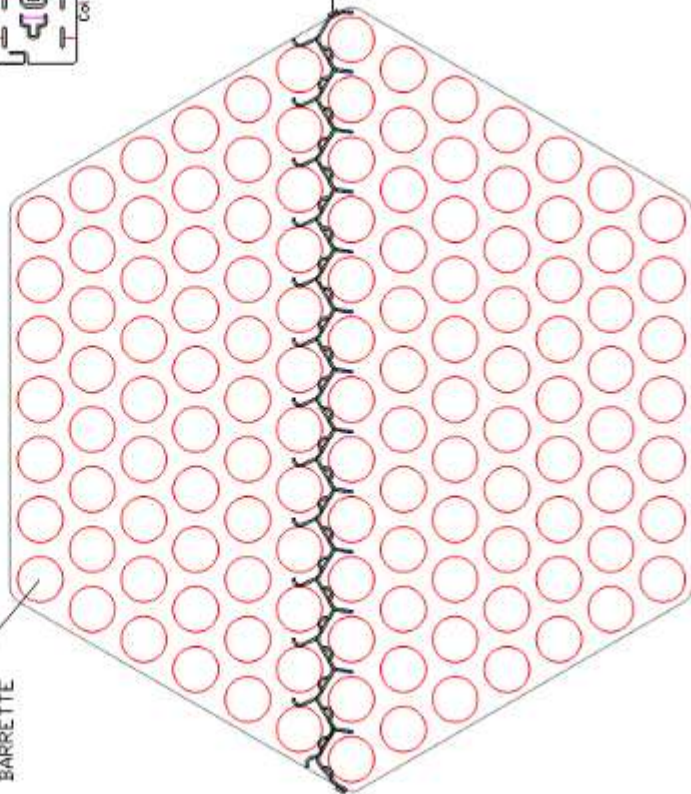
-Sviluppo sul piano per taglio chinico

particolare profilo di piegatura finale  
 per aggancio griglia in posizione  
 all'interno dell'esagono (Scala 2:1)



SPESORE LAMINA 0,25 mm

FASCIO  
 BARRETTE



POSIZIONE COMPONENTE 8  
 al MONTAGGIO GRIGLIA

SCALA 1 : 1

POS.	DESCRIZIONE	IT.	PEZZO	MATERIALE	NOTE	PEZZO No
7						
8						
9						
4						
5						
1						
2						
3						
0	EMESSO					03-07-13
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						
1						
2						



-Componente 9 Vista frontale dopo stampaggio e piegatura

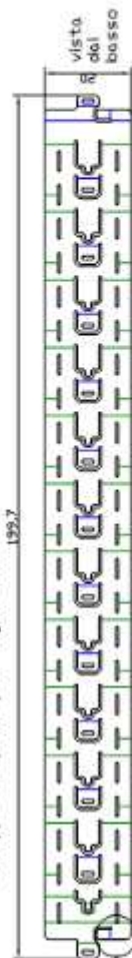


particolare profilo di piegatura  
 finale per aggancio griglia in  
 posizione all'interno  
 dell'esagono (Scala 2:1)

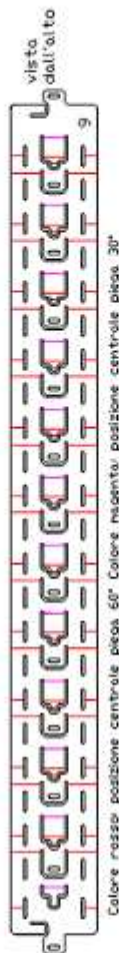


-Sviluppo sul piano per taglio clinico

199,7

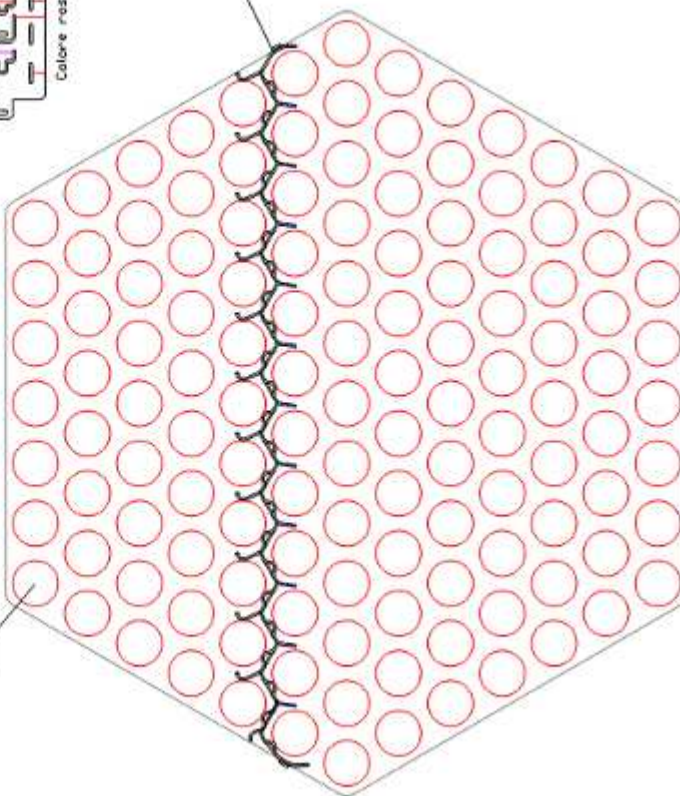


SPESORE LAMINA 0,634



POSIZIONE COMPONENTE 9  
 al MONTAGGIO GRIGLIA

FASCIO  
 BARRETTE



SCALA 1:1

POS.	DESCRIZIONE	N. PEZZI	MATERIALE	NOTE	PEZZI No
7					
8					
9					
4					
5					
6					
1					
2					
3					
0	EMESSO				03-07-13
Revisione					DATA

		n° J-50-0143	
Titolo - MSE-ENEA PAR 2012		PART.	
- LP2 - GRIGLIA SPAZIATRICE		Componente 9	
- Componente 9		Componente 9	



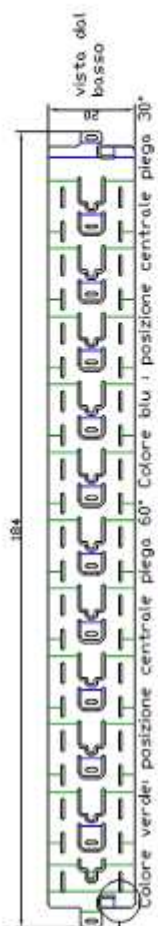
-Componente 10 Vista frontale dopo stampaggio e piegatura



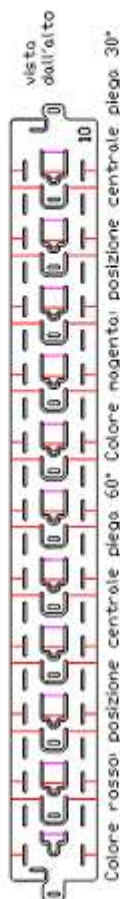
part. profilo di piegatura finale per aggancio griglia in posizione all'interno dell'esagono



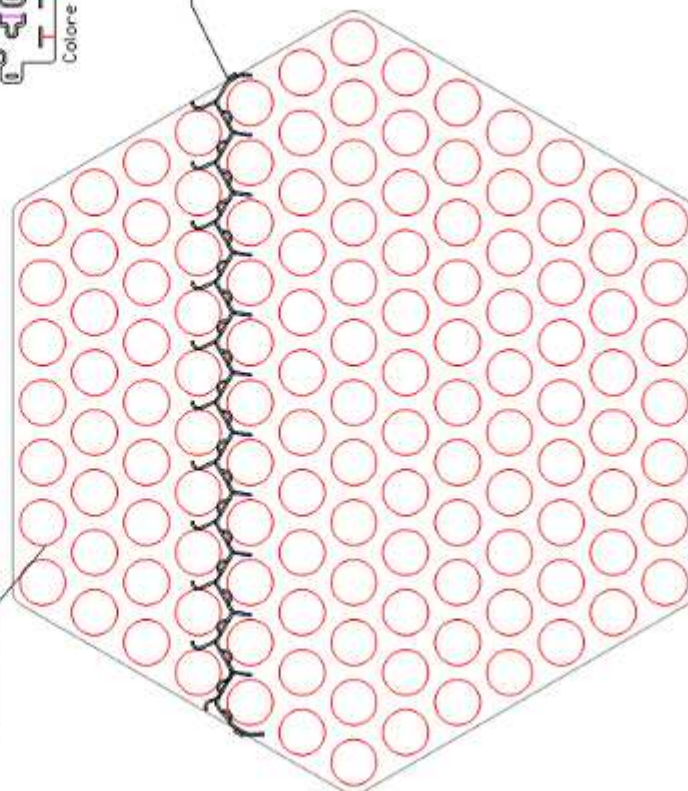
-Sviluppo sul piano per taglio chimico



PECCHIE LAMINA 200 x 200



FASCIO  
 BARRETTE



SCALA 1:1

POS.	DESCRIZIONE	IT.	FECCO	MATERIALE	NOTE	FECCO No
7						
6						
5						
4						
3						
2						
1						
0	EMESSO:					03-07-13
	Revisione					

		<b>Biosolenergia          Alessandria          Italy</b>	
<b>Tralicci - MSE-ENEA PAR 2012</b> - LP2 - GRIGLIA SPAZIATRICE - Componente 10		n° J-50-0144 PART.	
Formatori A/		SCALA 1/1	
Disegnato da 03-07-13		Controllato da 03-07-13	

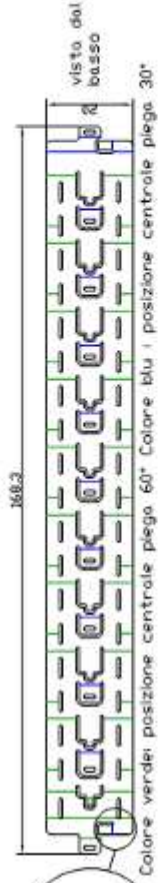


-Componente 11 Vista frontale dopo stampaggio e piegatura

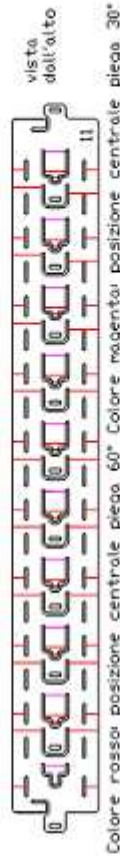


part. profilo di piegatura finale per aggancio griglia in posizione all'interno dell'esagono

-Sviluppo sul piano per taglio chinico

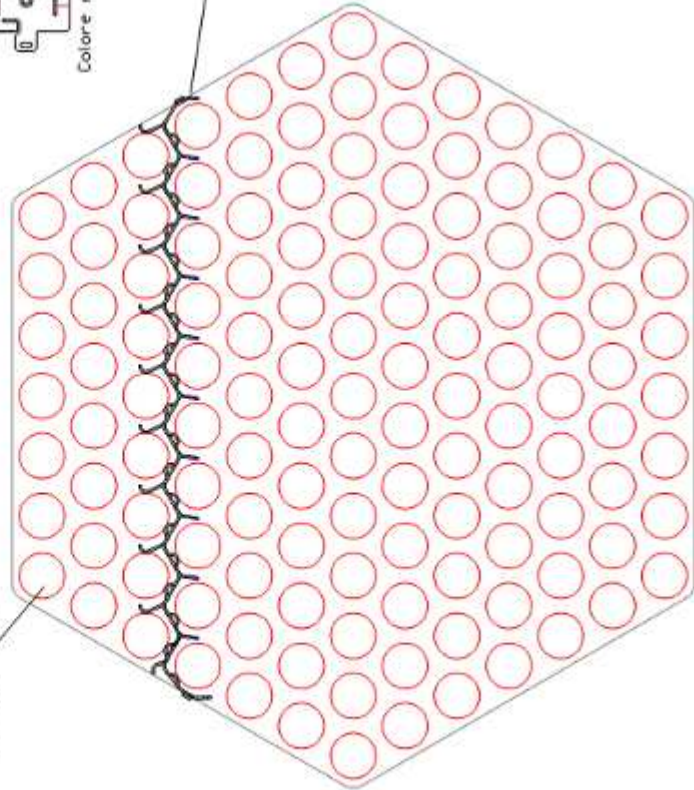


SPESSE LAMIERA 100 0,8mm



POSIZIONE COMPONENTE 11  
 al MONTAGGIO GRIGLIA

FASCIO  
 BARRETTE



SCALA 1:1

POS.	DESCRIZIONE	IT.	PEZZO	MATERIALE	NOTE	PEZZO No
7						
6						
5						
4						
3						
2						
1						
0	EMESSO:	03-07-13				
Revisione	MONTAGGIO	DESC.	APPROV.	AUTORE	DATA	

		Binasco/Melegnano Alessandria Italy	
n° J-50-0145		PART.	
Tralicci - MSE-ENEA PAR 2012		SCALA	
- LP2 - GRIGLIA SPAZIATRICE		M/100	
- Componente 11		SCALARE DA	
		COSTRUTTORE	



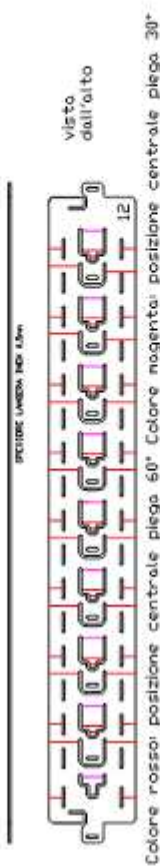
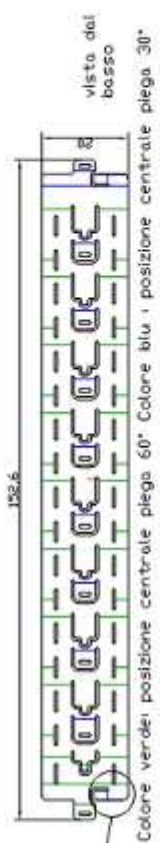
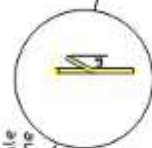


-Componente 12 Vista frontale dopo stampaggio e piegatura

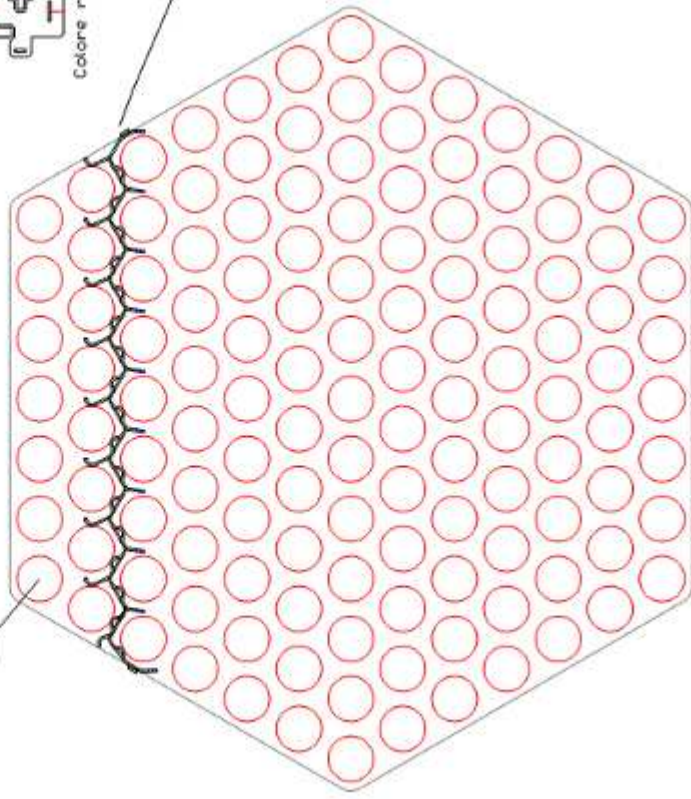


-Sviluppo sul piano per taglio chimico

part. profilo di piegatura finale  
 per aggancio griglia in posizione  
 all'interno dell'esogono



FASCIO  
 BARRETTE



POSIZIONE COMPONENTE 12  
 all. MONTAGGIO GRIGLIA

SCALA 1:1

POS	DESCRIZIONE	IT	PEZZO	MATERIALE	NOTE	PEZZO No
7						
8						
9						
4						
5						
1						
0	EMESSO					03-07-13
Revisione						DATA

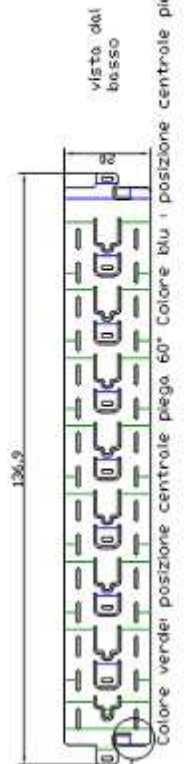
		BiondiMarigo Alessandria Italy	
Title - MSE-ENEA PAR 2012 - LP2 - GRIGLIA SPAZIATRICE - Componente 12		n° J-50-0146	
- Componente 12		PARTI	
- Componente 12		COSTRUTTO DA	
- Componente 12		VERIFICATE	



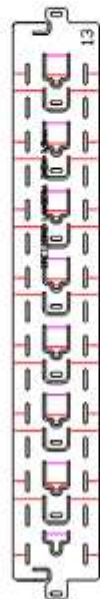
-Componente 13 Vista frontale dopo stampaggio e piegatura



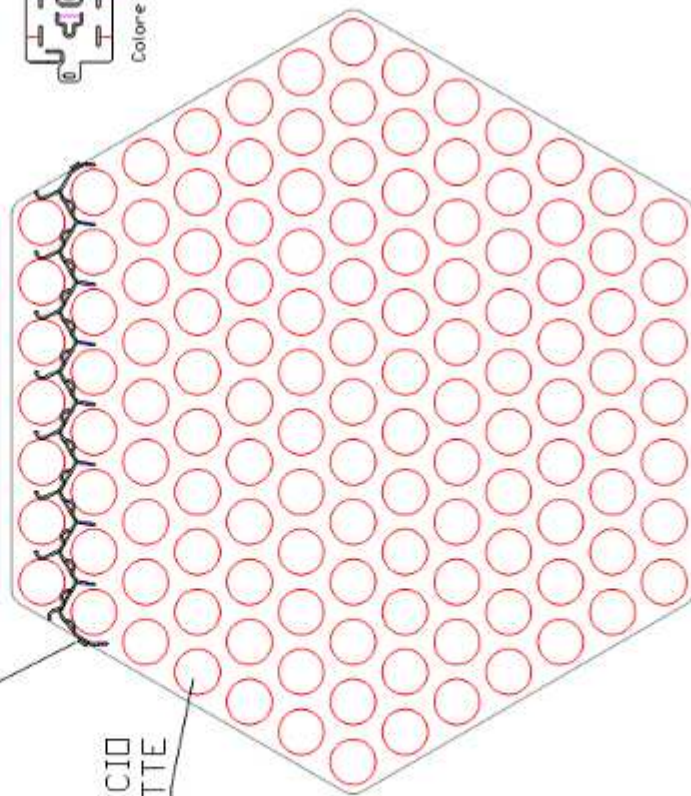
-Sviluppo sul piano per taglio chinico



DIREZIONE LAMINA INCL. 60°



FASCIO  
 BARRETTE



part. profilo di piegatura finale per aggancio griglia in posizione all'interno dell'esagono

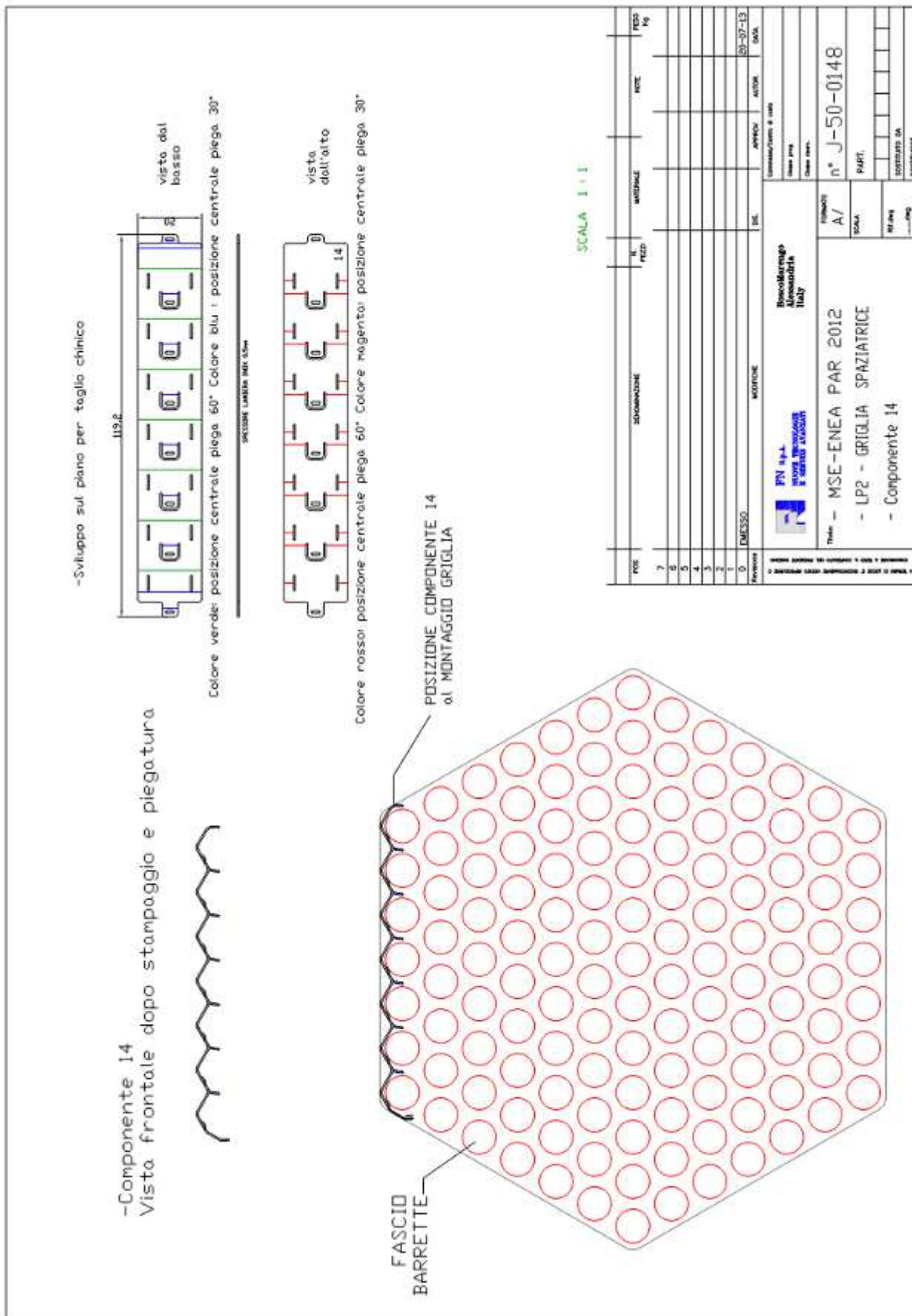
POSIZIONE COMPONENTE 13 al MONTAGGIO GRIGLIA


SCALA 1:1

POS.	DESCRIZIONE	IT.	PIED.	MOTIVAZIONE	NOTE	REDAZIONE
7						
8						
9						
4						
5						
1						
0	EMESSO					03-07-13
Revisione						

		BiondiMarigo Alessandria Italy	
Title - MSE-ENEA PAR 2012		n° J-50-0147	
- LP2 - GRIGLIA SPAZIATRICE		PART.	
- Componente 13		COLLEGATE DA	
		COSTRUTTE	



 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI          IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev.            0  ALLEGATI
--	---	-----------------------------------

## Allegato 4

### Ciclo di laminazione e incrudimento su piastre in 15-15 Ti



#### PRODUZIONE DI LAMINATI PIANI DA ACCIAIO AISI 15-15 Ti.

#### 1 Introduzione

E' stato eseguito, nel laboratorio Laminatoi e Formatura del CSM di Castel Romano, un ciclo di laminazione per produrre dei laminati di spessore 0,5 mm con deformazioni finali a freddo del 50% e del 75%.

#### 2 Modalità di prova a caldo

Sono stati sottoposti a prova, due pezzi di acciaio siglati 1C e due pezzi siglati 2C delle seguenti dimensioni: 15x300x50 mm (hxbxl)

Di seguito la procedura adottata:

##### Deformazione al 75%

- Inforamento dei campioni in forno a muffola a 1200°C e soaking di circa 15';
- laminazione per ridurre lo spessore fino a 2 mm;
- fine laminazione a caldo e raffreddamento in aria;
- laminazione a freddo dei laminati da 2 mm a uno spessore finale di 0,5 mm  $\pm 0.05$  (riduzione totale del 75%);


##### Deformazione al 50%

- Inforamento dei campioni in forno a muffola a 1200°C e soaking di circa 15';
- laminazione per ridurre lo spessore fino a 1 mm;
- fine laminazione a caldo e raffreddamento in aria;
- laminazione a freddo dei laminati da 1,0 mm a uno spessore finale di 0,5 mm  $\pm 0.05$  (riduzione totale del 50%).

#### 4 Conclusioni

Sono stati realizzati in totale 8 pezzi di lamiera di lunghezza 0,5 metri per ogni tipologia di riduzione richiesta.

Solo per il campione siglato 1C riduzione 50%, sono stati prodotti 7 pezzi anziché 8.

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>SIGLA DI IDENTIFICAZIONE</b>  LAM 056 R 393	Rev. 0  ALLEGATI
--	--	------------------------

**Allegato 5**

**FRD controlli dimensionali e visivo su lamine provenienti dal CSM**

 <b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI	<b>LABORATORIO MISURE E PROVE TECNOLOGICHE</b> <b>FOGLIO RILEVAMENTO DATI</b> <b>CONTROLLI DIMENSIONALI E ISPEZIONE VISIVA</b>	<b>FRD n. ADP FIS 001/13</b>
--	--	------------------------------

<b>Progetto:</b> ADP Fissione PAR 2012	<b>Cliente:</b> ENEA BRASIMONE	<b>Commessa:</b> 056
--	--------------------------------	----------------------

<b>Materiale:</b> lamine in acciaio inox 15 15 Ti incrudite
<b>Lotto:</b> colata 1C (50% di incrudimento)
<b>Provenienza:</b> CSM - ENEA
<b>Doc. di riferimento:</b> PQ ASQ 056 Q 131 rev.0; PFC ASQ 056 Q 132 rev.0



Id.	Visivo *	Lunghezza media utile (mm)	Larghezza media utile (mm)	Freccia (mm)	Spessore puntuale (mm)**	Spessore medio (mm)
0	ok	490	64	5	(1) 0.51 (2) 0.51 (3) 0.51 (4) 0.51 (5) 0.51 (6) 0.51 (7) 0.51 (8) 0.51 (9) 0.51	0.51
1	ok	490	64	5		
2	ok	490	64	5		
3	ok	490	64	3	(1) 0.51 (2) 0.50 (3) 0.51 (4) 0.51 (5) 0.50 (6) 0.51 (7) 0.50 (8) 0.51 (9) 0.51	0.51
4	ok	490	64	3	(1) 0.51 (2) 0.51 (3) 0.51 (4) 0.51 (5) 0.50 (6) 0.51 (7) 0.51 (8) 0.50 (9) 0.51	0.51
5	ok	490	60	Molto svergolo		
6	ok	490	60	Molto svergolo		

\* Su alcune lamine si notano dei segni non ben definiti ma che non inficiano la qualità per le prove

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Posizioni indicative di misura dello spessore delle lamine

\*\* Vista la ripetibilità delle misure di spessore si è deciso di effettuarle a campione.

<b>Eseguito da</b> 	<b>Approvato da</b> 	<b>Data</b> 31, 05, 2013	<b>Pag. 1 di 1</b>
---	--	-----------------------------	--------------------



<p><b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI</p>	<b>LABORATORIO MISURE E PROVE TECNOLOGICHE</b> <b>FOGLIO RILEVAMENTO DATI</b> <b>CONTROLLI DIMENSIONALI E ISPEZIONE VISIVA</b>	<b>FRD n. ADP FIS 002/13</b>

<b>Progetto:</b> ADP Fissione PAR 2012	<b>Cliente:</b> ENEA BRASIMONE	<b>Commessa:</b> 056
--	--------------------------------	----------------------

<b>Materiale:</b> lamine in acciaio inox 15 15 Ti incrudite
<b>Lotto:</b> colata IC (75% di incrudimento)
<b>Provenienza:</b> CSM - ENEA
<b>Doc. di riferimento:</b> PQ ASQ 056 Q 131 rev.0; PFC ASQ 056 Q 132 rev.0

Id.	Visivo *	Lunghezza media utile (mm)	Larghezza media utile (mm)	Freccia (mm)	Spessore puntuale (mm) **	Spessore medio (mm)
0	ok	490	63	1		
1	ok	490	63	4		
2	Difetto superficiale	490	59	7		
3	ok	490	64	3		
4	ok	490	63	3	(1) 0.51 (2) 0.51 (3) 0.51 (4) 0.51 (5) 0.51 (6) 0.51 (7) 0.51 (8) 0.51 (9) 0.51	0.51
5	ok	490	64	2	(1) 0.52 (2) 0.51 (3) 0.52 (4) 0.53 (5) 0.51 (6) 0.53 (7) 0.52 (8) 0.51 (9) 0.52	0.52
6	ok	490	63	4	(1) 0.52 (2) 0.51 (3) 0.52 (4) 0.53 (5) 0.52 (6) 0.53 (7) 0.52 (8) 0.52 (9) 0.51	0.52
7	ok	490	62	4		

\* Su tutte le lamine si vedono dei segni che non inficiano la qualità delle prove

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Posizioni indicative di misura dello spessore delle lamine

\*\* Vista la ripetibilità delle misure di spessore si è deciso di effettuarle a campione.

<b>Eseguito da</b> 	<b>Approvato da</b> 	<b>Data</b> 31.05.2013	<b>Pag. 1 di 1</b>
------------------------	-------------------------	---------------------------	--------------------



	<b>FN S.p.A.</b>	<b>LABORATORIO MISURE E PROVE TECNOLOGICHE FOGLIO RILEVAMENTO DATI CONTROLLI DIMENSIONALI E ISPEZIONE VISIVA</b>	<b>FRD n. ADP FIS 003/13</b>
	NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI		

<b>Progetto:</b> ADP Fissione PAR 2012	<b>Cliente:</b> ENEA BRASIMONE	<b>Commessa:</b> 056
--	--------------------------------	----------------------

<b>Materiale:</b> lamine in acciaio inox 15 15 Ti incrudite
<b>Lotto:</b> colata 2C (50% di incrudimento)
<b>Provenienza:</b> CSM - ENEA
<b>Doc. di riferimento:</b> PQ ASQ 056 Q 131 rev.0; PFC ASQ 056 Q 132 rev.0

Id.	Visivo	Lunghezza media (mm)	Larghezza media utile (mm)	Freccia (mm)	Spessore puntuale (mm)	Spessore medio (mm)
0	ok	490	60	3		
1	ok	490	60	3	(1) 0.50 (2) 0.49 (3) 0.50 (4) 0.51 (5) 0.50 (6) 0.51 (7) 0.50 (8) 0.50 (9) 0.51	0.50
2	ok	490	60	3	(1) 0.51 (2) 0.49 (3) 0.51 (4) 0.51 (5) 0.50 (6) 0.51 (7) 0.51 (8) 0.50 (9) 0.51	0.50
3	ok	490	60	3	(1) 0.51 (2) 0.51 (3) 0.51 (4) 0.52 (5) 0.52 (6) 0.52 (7) 0.52 (8) 0.50 (9) 0.51	0.51
4	ok	490	58	6		
5	ok	490	60	3		
6	ok	490	58	6		
7	ok	490	60	3		

\* Su tutte le lamine si vedono dei segni che non inficiano la qualità delle prove

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Posizioni indicative di misura dello spessore delle lamine

\*\* Vista la ripetibilità delle misure di spessore si è deciso di effettuarle a campione.

<b>Eseguito da</b> 	<b>Approvato da</b> 	<b>Data</b> 31.05.2013	<b>Pag. 1 di 1</b>
------------------------	-------------------------	---------------------------	--------------------



<p><b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI</p>	<p><b>LABORATORIO MISURE E PROVE TECNOLOGICHE</b></p>	<p><b>FRD n. ADP FIS 004/13</b></p>
	<p><b>FOGLIO RILEVAMENTO DATI CONTROLLI DIMENSIONALI E ISPEZIONE VISIVA</b></p>	

<b>Progetto:</b> ADP Fissione PAR 2012	<b>Cliente:</b> ENEA BRASIMONE	<b>Commessa:</b> 056
<b>Materiale:</b> lamine in acciaio inox 15 15 Ti incrudite		
<b>Lotto:</b> colata 2C (75% di incrudimento)		
<b>Provenienza:</b> CSM - ENEA		
<b>Doc. di riferimento:</b> PQ ASQ 056 Q 131 rev.0; PFC ASQ 056 Q 132 rev.0		

Id.	Visivo *	Lunghezza media (mm)	Larghezza media utile (mm)	Freccia (mm)	Spessore puntuale (mm) **	Spessore medio (mm)
0	ok	490	60	7		
1	ok	490	65	3	(1) 0.50 (2) 0.49 (3) 0.51 (4) 0.52 (5) 0.52 (6) 0.52 (7) 0.52 (8) 0.50 (9) 0.51	0.51
2	ok	490	65	3	(1) 0.51 (2) 0.51 (3) 0.51 (4) 0.52 (5) 0.52 (6) 0.52 (7) 0.51 (8) 0.51 (9) 0.51	0.51
3	ok	490	65	3		
4	ok	490	60	7		
5	ok	490	65	3		
6	ok	490	65	3	(1) 0.51 (2) 0.51 (3) 0.51 (4) 0.51 (5) 0.51 (6) 0.51 (7) 0.51 (8) 0.51 (9) 0.51	0.51
7	ok	490	65	3		

\* Su alcune lamine si notano dei segni non ben definiti ma che non inficiano la qualità per le prove

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Posizioni indicative di misura dello spessore delle lamine

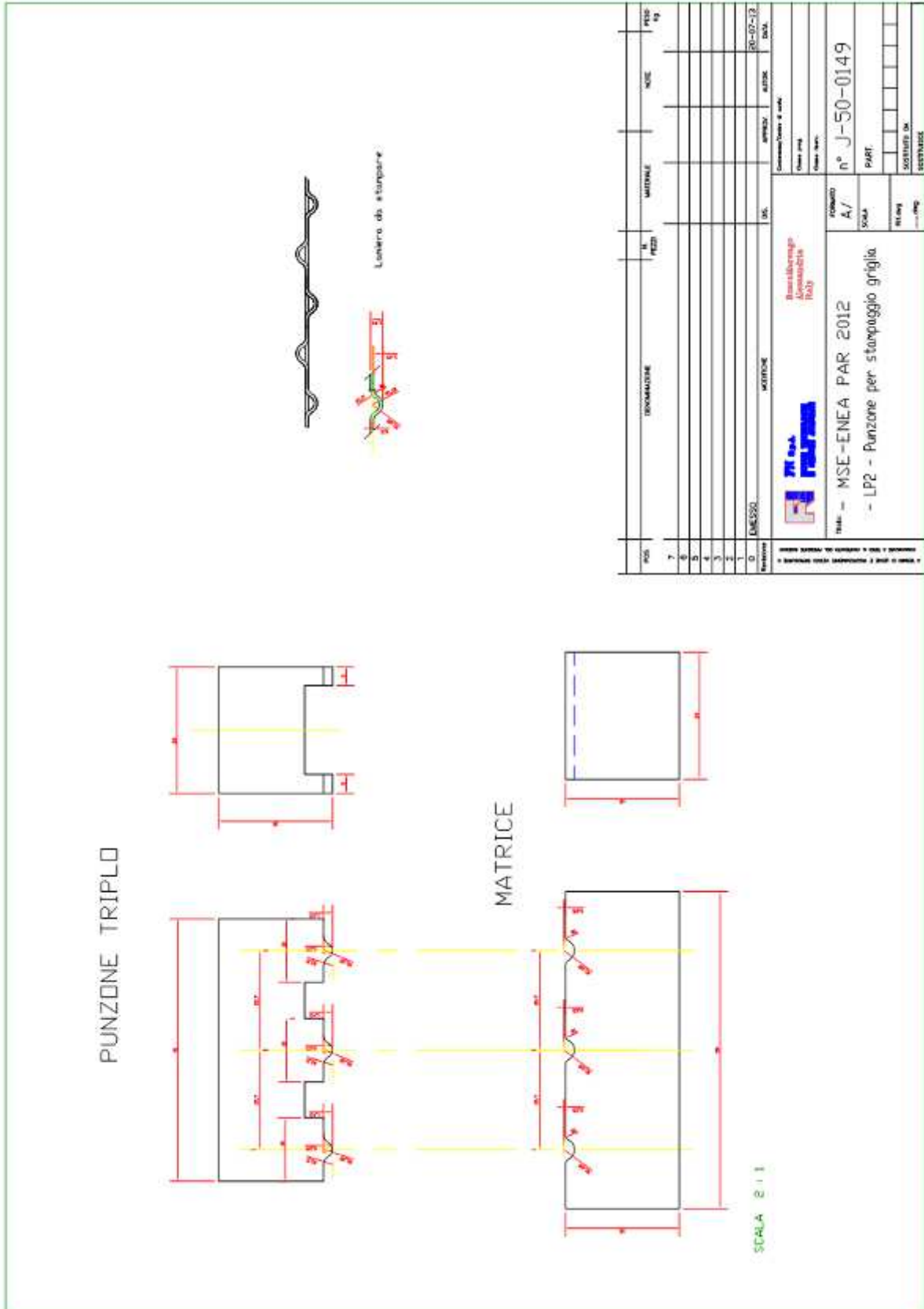
\*\* Vista la ripetibilità delle misure di spessore si è deciso di effettuarle a campione.


<b>ESEGUITO</b> 	<b>APPROVATO</b> 	<b>DATA</b> 31.05.2013	<b>Pag. 1 di 1</b>
---------------------	----------------------	---------------------------	--------------------





**Allegato 6**



 <p><b>FN S.p.A.</b> NUOVE TECNOLOGIE E SERVIZI AVANZATI</p>	<p><b>SIGLA DI IDENTIFICAZIONE</b></p> <p>LAM 056 R 393</p>	<p>Rev. 0</p> <p>ALLEGATI</p>
---	---	-------------------------------

**Allegato 7**

**Report di analisi EDS**

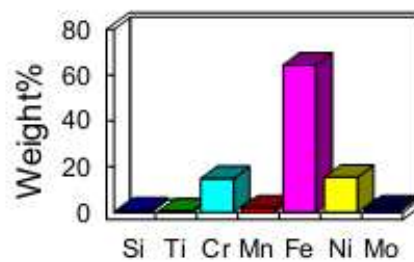


Project: RA3341  
 Owner: INCA  
 Site: sezione 2

Sample: Sample 1  
 Type: Default  
 ID: ACCIAIO 1515 Ti

Label: Spectrum 1  
 Collected: 2-Jul-2013 02:32 PM  
 Livetime (s): 49.88  
 Real time (s): 58.13  
 Detector: Silicon  
 Window: SATW  
 Tilt (deg): 0.0  
 Elevation (deg): 35.0  
 Azimuth (deg): 0.0  
 Magnification: 5131 X  
 Accelerating voltage (kV): 20.00  
 Process time: 5

**Quantitative results**

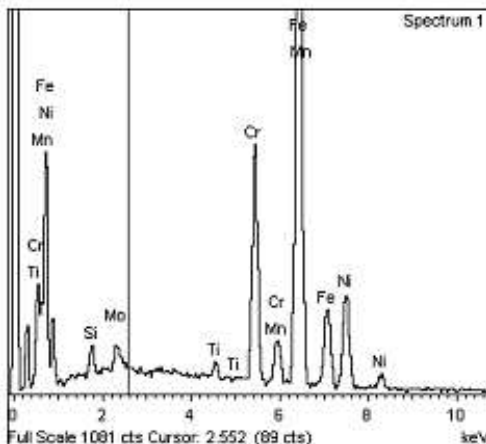


Spectrum processing :  
 No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
 Number of iterations = 3

Standard :  
 Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Ti Ti 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Mo Mo 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Si K	1.00	1.97
Ti K	0.69	0.80
Cr K	14.76	15.75
Mn K	1.94	1.96
Fe K	64.40	63.97
Ni K	15.26	14.42
Mo L	1.95	1.13
Totals	100.00	



**Campione con 50% di incrudimento tal quale**

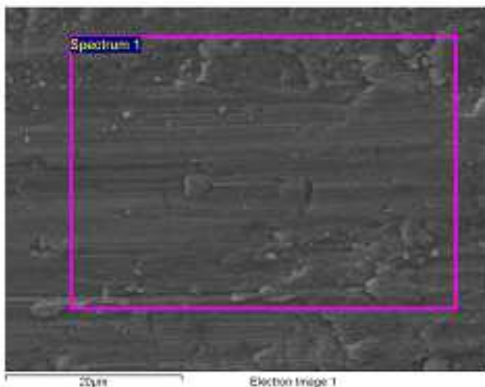
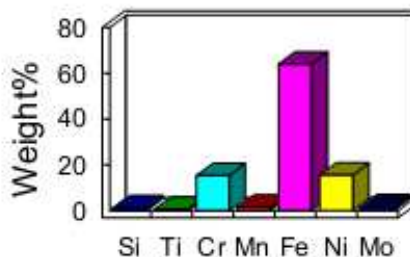


Project: RA3341  
 Owner: INCA  
 Site: sezione 2

Sample: Sample 2  
 Type: Default  
 ID: ACCIAIO INOX 1515 Ti

Label: Spectrum 1  
 Collected: 2-Jul-2013 03:17 PM  
 Livetime (s): 49.88  
 Real time (s): 58.61  
 Detector: Silicon  
 Window: SATW  
 Tilt (deg): 0.0  
 Elevation (deg): 35.0  
 Azimuth (deg): 0.0  
 Magnification: 5131 X  
 Accelerating voltage (kV): 20.00  
 Process time: 5

**Quantitative results**

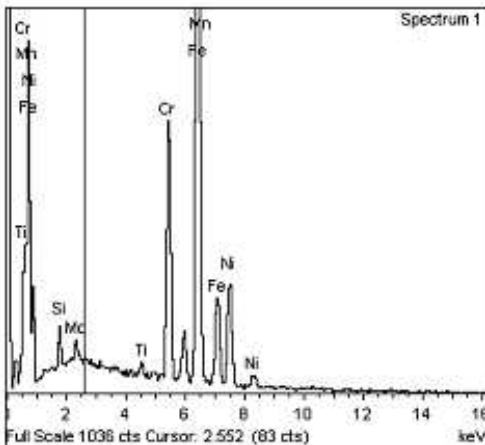


Spectrum processing :  
 No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
 Number of iterations = 3

Standard :  
 Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Ti Ti 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Mo Mo 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Si K	1.27	2.49
Ti K	0.71	0.82
Cr K	15.30	16.26
Mn K	1.53	1.54
Fe K	64.10	63.40
Ni K	15.47	14.55
Mo L	1.62	0.93
<b>Totals</b>	<b>100.00</b>	



**Campione con 75% di incrudimento tal quale**

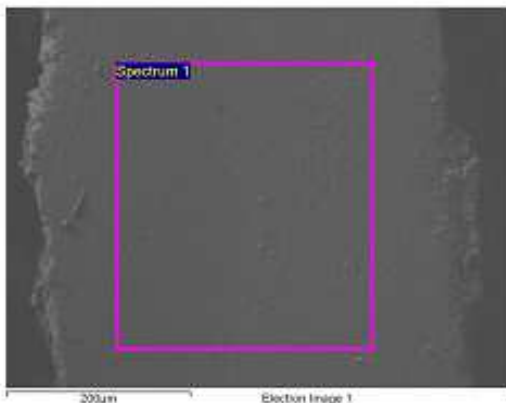
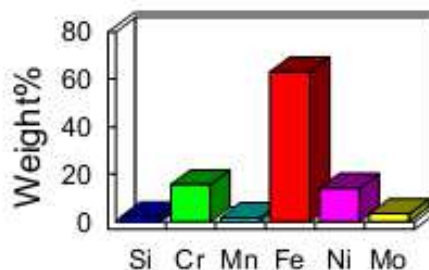


Project: RA3341  
 Owner: INCA  
 Site: Site of Interest 1

Sample: Sample 5-50%  
 Type: Default  
 ID: campione dopo solubilizzazione

Label: Spectrum 1  
 Collected: 2-Jul-2013 04:54 PM  
 Livetime (s): 50.12  
 Real time (s): 55.45  
 Detector: Silicon  
 Window: SATW  
 Tilt (deg): 0.0  
 Elevation (deg): 35.0  
 Azimuth (deg): 0.0  
 Magnification: 513 X  
 Accelerating voltage (kV): 20.00  
 Process time: 5

**Quantitative results**

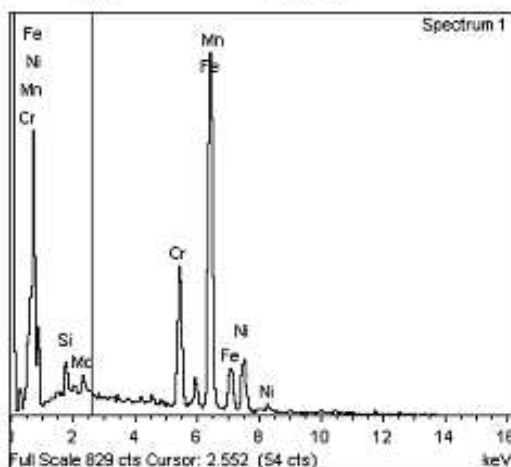


Spectrum processing :  
 No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
 Number of iterations = 3

Standard :  
 Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Mo Mo 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Si K	2.11	4.15
Cr K	15.63	16.59
Mn K	1.66	1.67
Fe K	63.17	62.43
Ni K	14.09	13.25
Mo L	3.33	1.92
Totals	100.00	



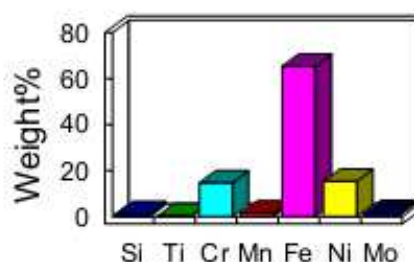
**Campione incrudito al 50% dopo trattamento di solubilizzazione**



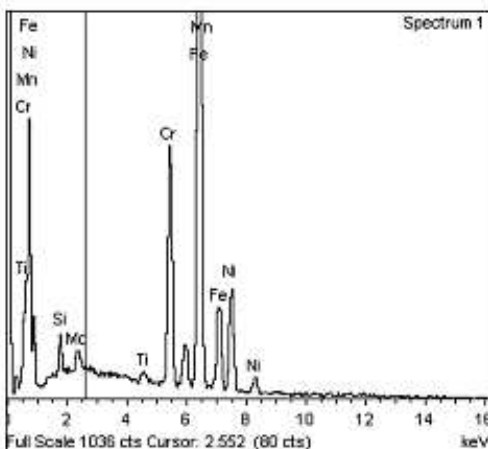
Project: RA3341 Owner: FNCA Site: Site of Interest 1	Sample: Sample 3-50% Type: Default ID: dopo ciclo di distensione
--	--

Label: Spectrum 1  
 Collected: 2-Jul-2013 03:48 PM  
 Livetime (s): 49.93  
 Real time (s): 58.19  
 Detector: Silicon  
 Window: SATW  
 Tilt (deg): 0.0  
 Elevation (deg): 35.0  
 Azimuth (deg): 0.0  
 Magnification: 51.3 X  
 Accelerating voltage (kV): 20.00  
 Process time: 5

**Quantitative results**



Spectrum processing :  
 No peaks omitted  
 Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
 Number of iterations = 3  
 Standard :  
 Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Ti Ti 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Mo Mo 1-Jun-1999 12:00 AM



Element	Weight%	Atomic%
Si K	1.24	2.45
Ti K	0.38	0.43
Cr K	14.67	15.60
Mn K	1.50	1.51
Fe K	65.33	64.69
Ni K	15.25	14.37
Mo L	1.63	0.94
Totals	100.00	

**Campione al 50% di incrudimento dopo solubilizzazione e distensione**



