

Sviluppo di un sistema di rivestimenti multistrato innovativo, compatibile con il piombo liquido ad elevata temperatura, per sistemi di accumulo e scambio termico in impianti ad energia solare nel progetto NexTower



- A. Rinaldi, SSPT-PROMAS-MATPRO, ENEA CR Casaccia, S.M. di Galeria, Roma, (RM) - Italy
- G. Barbieri, SSPT-PROMAS-MATPRO, ENEA CR Casaccia, S.M. di Galeria, Roma, (RM) Italy
- T. di Giamberardino, Walter Tosto Spa, Via E. Piaggio, 162, Chieti - Italy
- D. Quintiliani, Walter Tosto Spa, Via E. Piaggio, 162, Chieti - Italy
- C. Testani, Consorzio CALEF c/o ENEA CR Casaccia, S.M. di Galeria, Roma, (RM) - Italy





Progetto NEXTOWER



PROJECT DETAILS

PROJECT REFERENCE:
721045
START/END:
Jan 2017 - Dec 2020
TOTAL COST:
EUR 6 307 851,25
EU CONTRIBUTION:
EUR 4 999 777,88
PROGRAMME ACRONYM:
NEXTOWER
CALL IDENTIFIER:
H2020-NMBP-2016-two-stage
TOPIC:
NMBP-17-2016 - Advanced materials solutions and architectures for high efficiency solar energy harvesting
FUNDING SCHEME:
IA - Innovation action
PROJECT WEBSITE:
<http://www.h2020-nextower.eu>

CONTACTS

Project Coordinator
Antonio Rinaldi
AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE
antonio.rinaldi@enea.it

Project Manager
Isella Vicini
BEWARRANT S.L.
isella.vicini@warrantgroup.it



PARTNERS



FOR MORE INFORMATION:

<http://www.h2020-nextower.eu>



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement n. 721045

Powered by Warrant Group srl

NEXTOWER



ADVANCED MATERIALS SOLUTIONS FOR NEXT GENERATION HIGH EFFICIENCY CONCENTRATED SOLAR POWER (CSP) TOWER SYSTEMS

THE PROJECT

Atmospheric solar towers represent one of the best short-term options for large scale power generation in Concentrated Solar Power, provided that limitations in materials for solar receivers and heat transfer solutions are developed and tested.

NEXTOWER aims at demonstrating high-performance durable materials for the next generation of concentrated solar power (CSP) air-based tower systems, making them commercially competitive in the energy market beyond 2020.

NEXTOWER takes a comprehensive conceptual and manufacturing approach that starts by optimizing for durability the ceramic materials to achieve 20-25 years of maintenance-free service receiver components, while increasing their operating temperature for thermodynamic efficiency. The actual exploitation of the hotter air (up to 800°C) is then crucially tied to the development of a high-temperature thermal storage, here inspired by nuclear fission GEN-IV technology and based on liquid lead by means of new corrosion resistant steels.

INNOVATION



Fore-front Ceramic Design, Modelling, Characterization & Manufacturing:

The solar receiver of the atmospheric CSP will be designed out of tough monolithic ceramic with high thermal conductivity.



Thermal Storage:

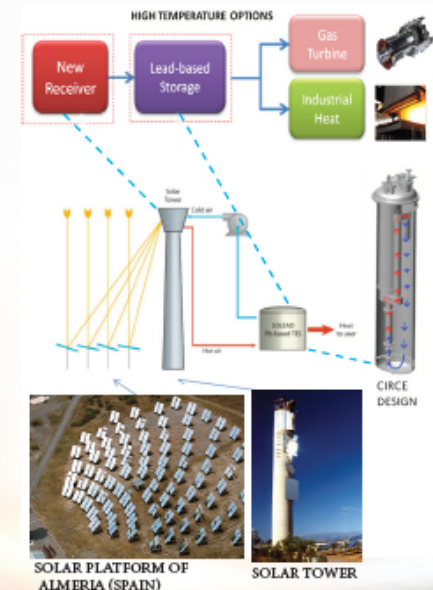
Innovative expertise and equipment derived from nuclear research for the purpose of developing liquid metal (lead-based) technology for high temperature storage.



Excellence and commitment to CSP testing in laboratory and full scale rigs:

NEXTOWER makes available full scale large demonstrators and some of the best known research facilities in solar technologies.

CONCEPT



OBJECTIVES

Durable solar receivers

Develop new mechanically tough and highly thermally conductive SiC ceramic receivers, working under extreme thermal cycling without failure at a maximum materials temperature of at least 800°C and delivering over 20 years of continued operations.

High temperature steels for thermal storage by liquid lead

Develop coextruded-tubes and liner technologies from proprietary FeCrAl corrosion-resistant alumina forming steels to build high-capacity, high-efficiency lead-based heat storage that can work with high temperature receivers to supply gas turbines or industrial processes, thus expanding the boundaries of CSP technology.

Field testing that will run for 12 months

One year of demonstration with lead at average 700°C for the full proof of all the materials and for input data for levelized cost of energy (LCOE) and Life Cycle Assessment (LCA) computations.

New SOLEAD demo of CSP with lead loop

Set up a full scale CSP demonstrator (SOLEAD) for unprecedented field testing of materials for CSP lead-towers, encompassing a large solar receiver interfaced to a single-chamber lead storage pool, in turns connected to a secondary "heat sink".

Proving long term operations

Non-destructive testing and multi-scale modelling are intertwined synergically to optimize resources and provide predictive approach, while contributing to the EMMC (European Materials Modelling Council) initiative.

Exploitation and Standardization

NEXTOWER will establish and maintain an exploitation culture throughout the project, treating IPR in a way that maximizes impact, and addressing the integration of NEXTOWER with the standardization system.

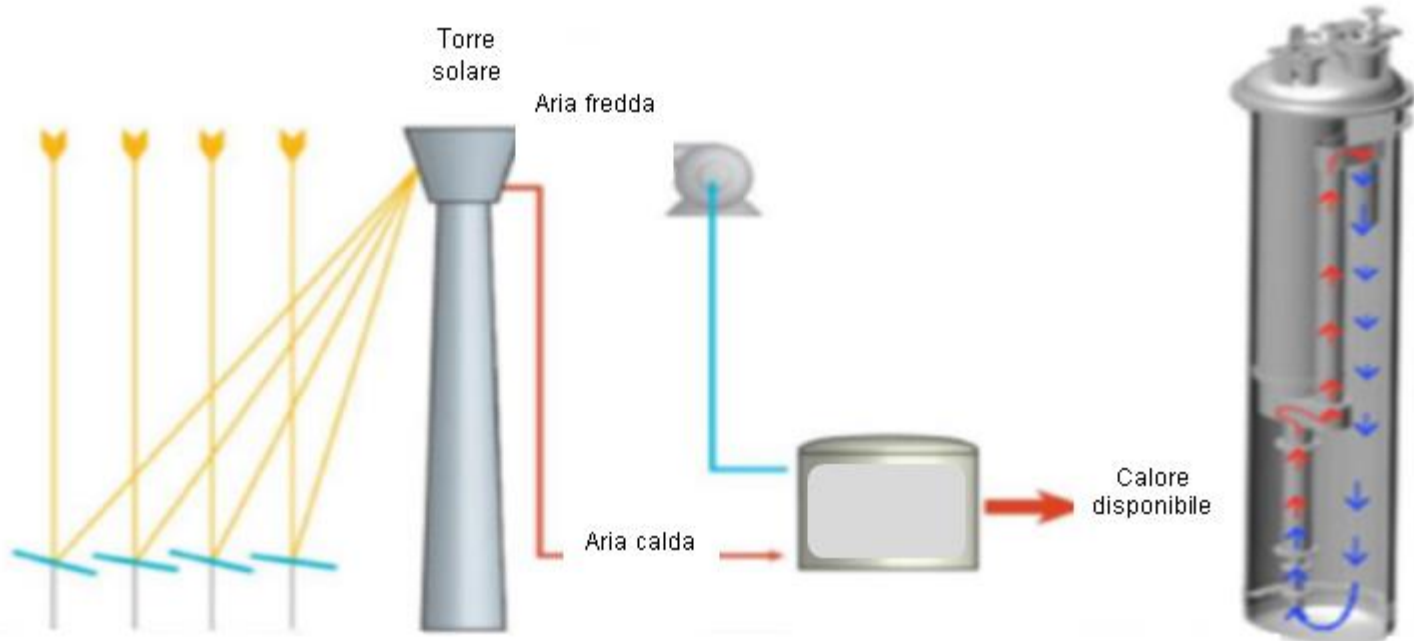
Progetto NEXTOWER



Giornate Nazionali di Saldatura

GNS 11

Genova, 24-25 Giugno 2021
Porto Antico
Centro Congressi



1. LIMITE TECNICO per le torri solari è rappresentato dalla (T_{max} intorno $565^{\circ} C$) raggiungibile con gli attuali fluidi di accumulo e scambio (sali fusi).
2. Utilizzando il piombo fuso come mezzo di accumulo/scambio del calore si possono raggiungere gli $800^{\circ} C$ con sistemi ad aria ad elevata efficienza.

$T \geq 800^{\circ} \text{C}$ richiedono

Nuovi fluidi di scambio termico

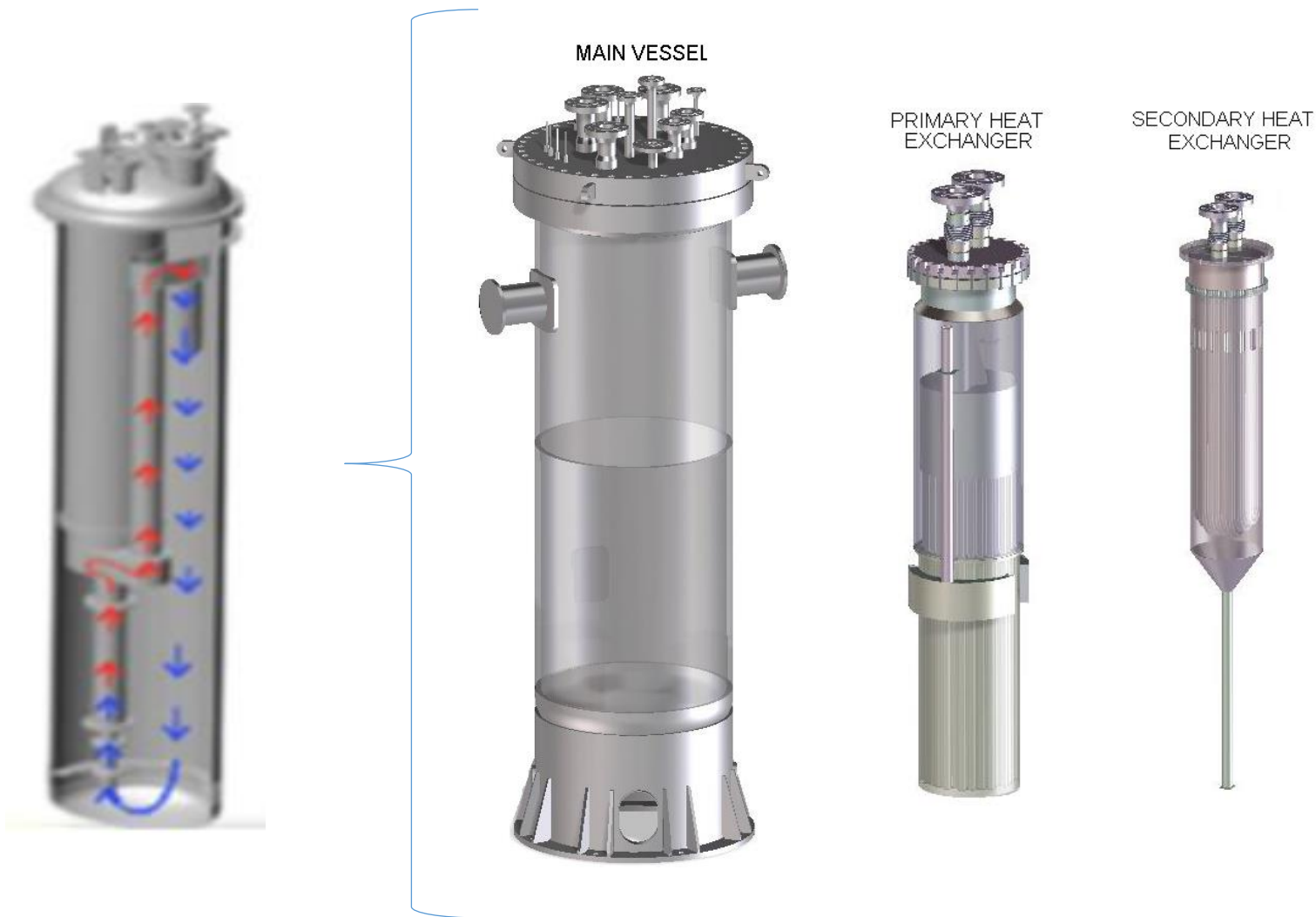
Un materiale base con elevata resistenza al creep

Piombo fuso tra i migliori candidati per tale scopo

Leghe di Ni
(e.g. Incoloy[®] 800H)

Leghe FeCrAl
come rivestimento
(elevata solubilità del Ni nel Pb fuso)

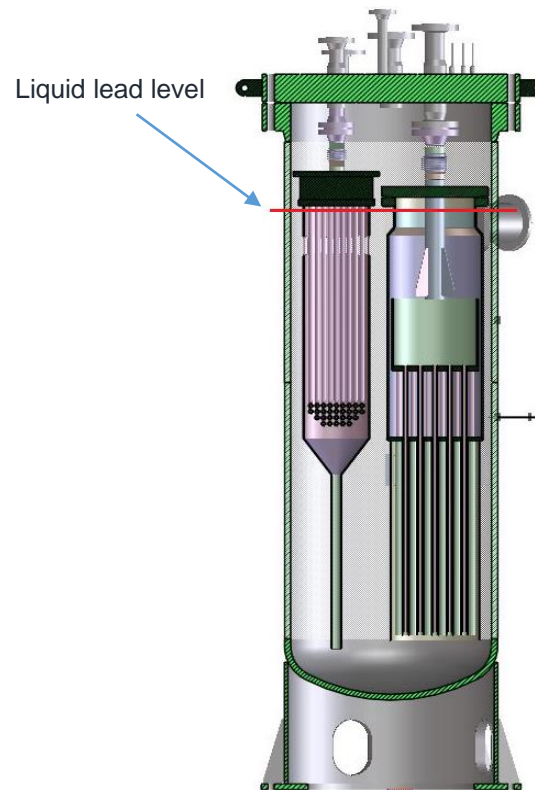
Air/liquid lead (SOLEAD) heat exchanger:



Progetto NEXTOWER

 **Giornate Nazionali di Saldatura**
GNS 11
 Genova, 24-25 Giugno 2021
 Porto Antico
 Centro Congressi

Due problematiche principali:



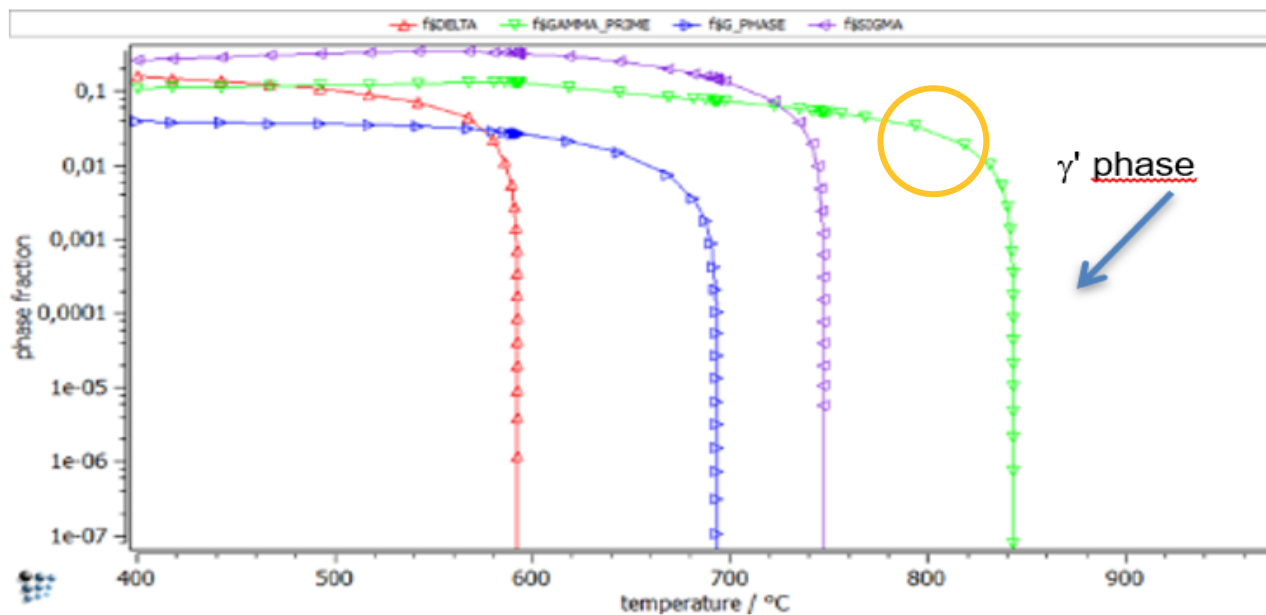
1. Resistenza alla deformazione da creep che si innesca per le elevate temperature e per il peso del fluido di esercizio all'interno degli scambiatori.
2. Superamento della corrosione da piombo fuso che aggredisce i siti del Ni dei comuni acciai strutturali.



Resistenza meccanica a caldo

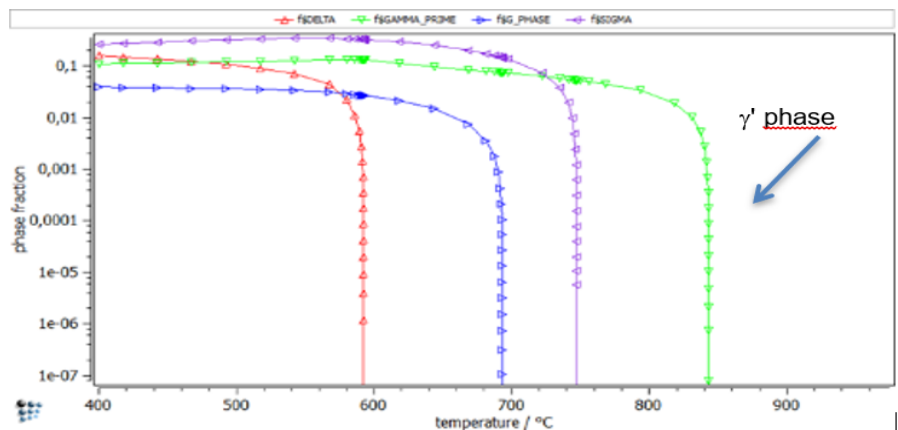


Materiale	C	Si	Cr	Ni	Al	Ti	W	Co	Cu	Nb	Mo	Fe
253MA	0.08	1.6	21	11	-	-	-	-	-	-	-	BAL
Sanicro 25	<0.1	0.2	22.5	25	-	-	3.6	1.5	3.0	0.5	-	BAL
Sanicro 31HT	0.07	0.6	20.5	30.5	0.5	0.5	-	-	-	-	-	BAL
Alloy 800 H	<0.1	<0.6	21	31	<0.6	<0.6			0.5			BAL
IN617	0.1	<1.0	22	44.5	1.3	-	-	10-15	-	-	9.0	<3.0



: MatCalc® risultati per l'acciaio Alloy 800H: temperature di equilibrio della dissoluzione dei precipitati

Materiale	Durata a Creep (10.000 h)	Rottura a Creep - R-life (100.000 h)	Rif.
253MA	T=800°C - $\sigma = 28$ MPa;	$\sigma = 15$ MPa	Sandvik 253MA data sheet [35]
Sanicro 25	T=800°C - $\sigma = 50$ MPa	$\sigma = 25$ MPa	Sandvik Sanicro 25 data sheet [36]
Sanicro 31HT	T=800°C	$\sigma = 27$ MPa	Sandvik Sanicro 31HT data sheet [37]
Alloy 800H	T=815°C - $\sigma = 36$ MPa	$\sigma = 27$ MPa	Specification Sheet: Alloy 800H/800HT (UNS N08810, UNS N08811) W. Nr. 1.4958, 1.4959 [38]
IN617	T=815°C - $\sigma = 69$ MPa; T=870°C - $\sigma = 40$ MPa		IN617 - Special Metals Data Sheet [39]



: MatCalc® risultati per l'acciaio Alloy 800H: temperature di equilibrio della dissoluzione dei precipitati

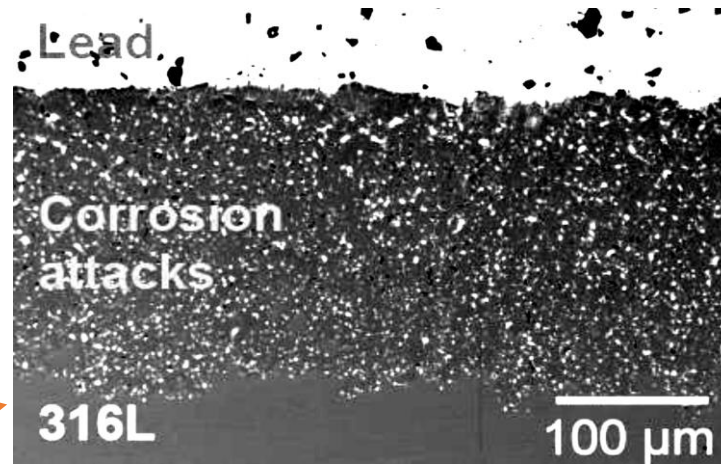


Resistenza alla corrosione

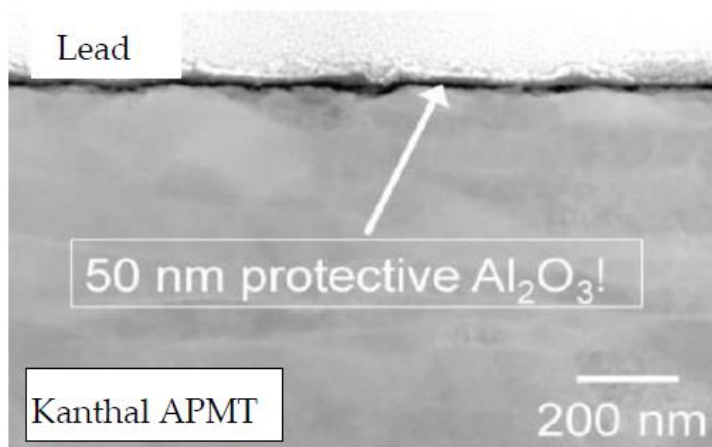
Le problematiche di corrosione

Kanthal® AF (% wt)	C	Si	Mn	Cr	Al	Fe
MIN				20.5	5.3	Bal.
MAX	0.08	0.7	0.4	23.5		

Temperatura (°C)	H ₂ /H ₂ O rapporto	O dissolto nel piombo fuso (%peso)	Durata (h)
800	0.06	3×10^{-5}	1116

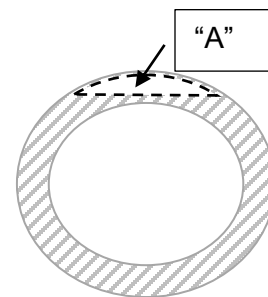
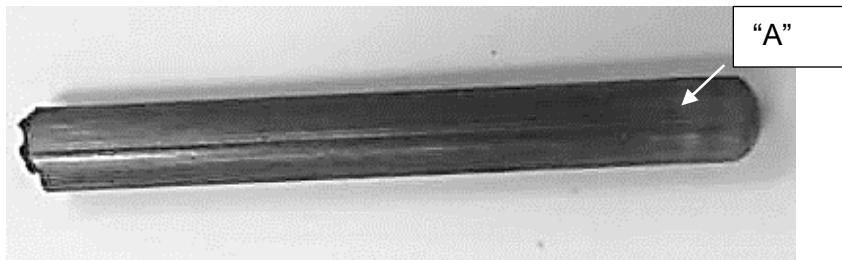


Esempio di attacco del piombo fuso su un campione di:
AISI 316L
e su Kanthal®APMT

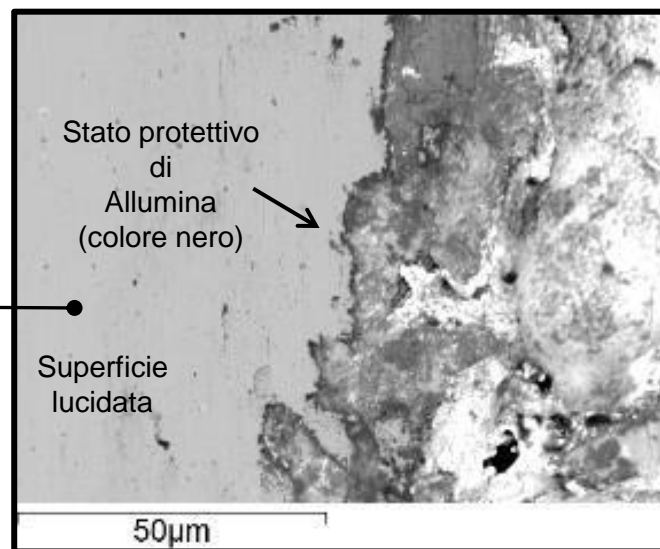
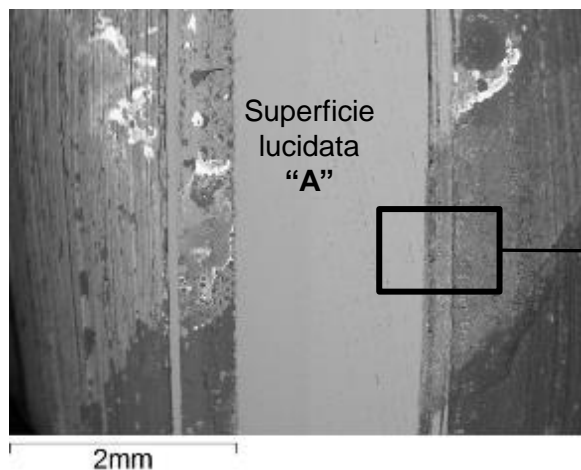


Resistenza alla corrosione

Le Termocoppie:

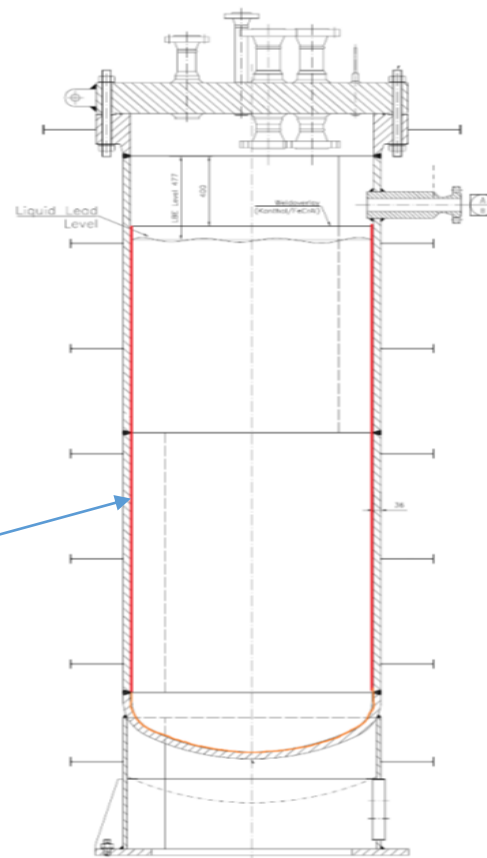
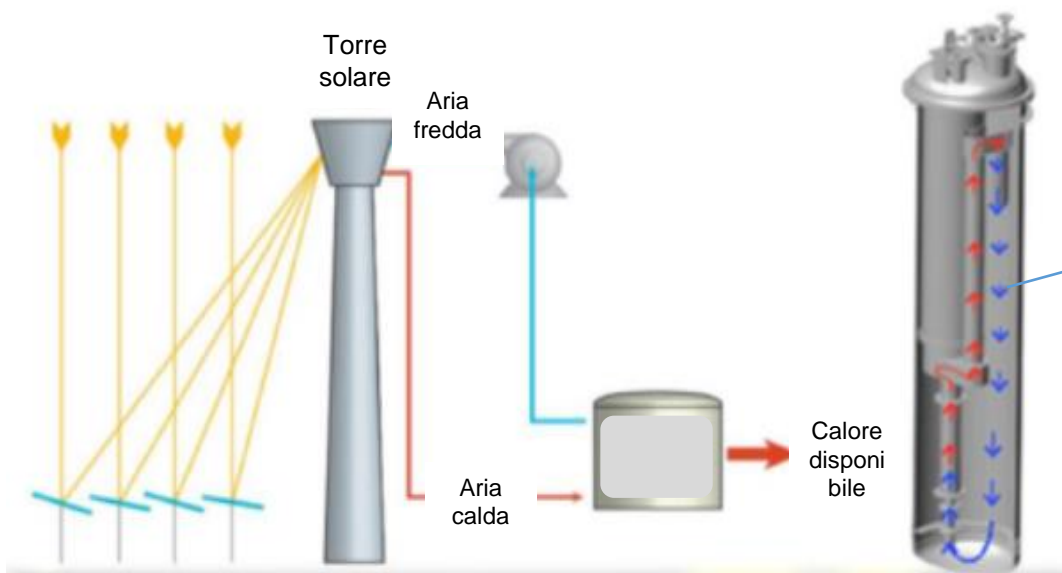


Temperatura (°C)	H ₂ /H ₂ O rapporto	Durata (h)
800	0.06	1116



Resistenza alla corrosione

Superficie interna interessata dalla placcatura con lega tipo FeCrAl.



Resistenza alla corrosione



Rivestimento interno del Main Vessel



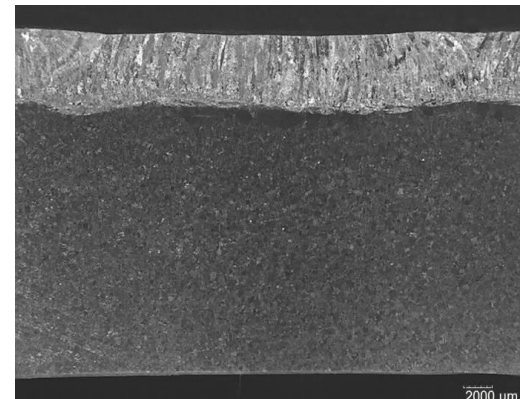
Qualifica del processo di placcatura SAW - Strip

Rivestimento interno del Main Vessel

Configurazione di saldatura adottata	
Processo	SAW – strip cladding
Apparecchiatura	Cladding head: ESW 60/30; Power sources: 2 x 1000 DC with parallel connection
Materiale base	Alloy 800H – thk 32 mm
Nastro	FeCrAl alloy L198 – (30x0,5mm)

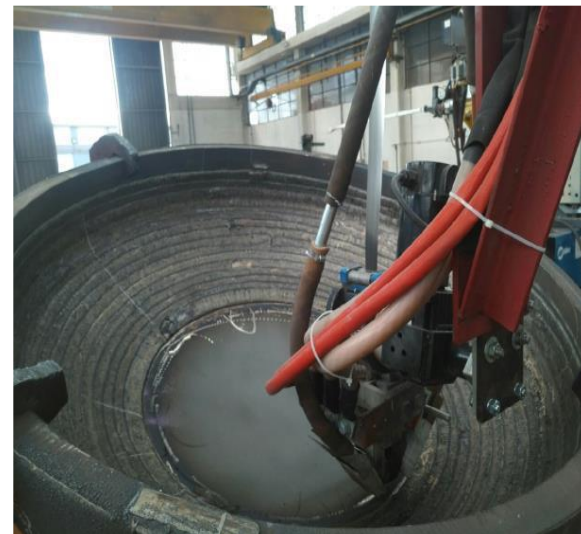


Combinazione ottimale	
Corrente	450 ÷ 550 A
Voltaggio	28 ÷ 33V
Velocità	18 ÷ 22 cm/min
Stick-out	30 ÷ 35 mm
Preriscaldamento	≥ 250°C



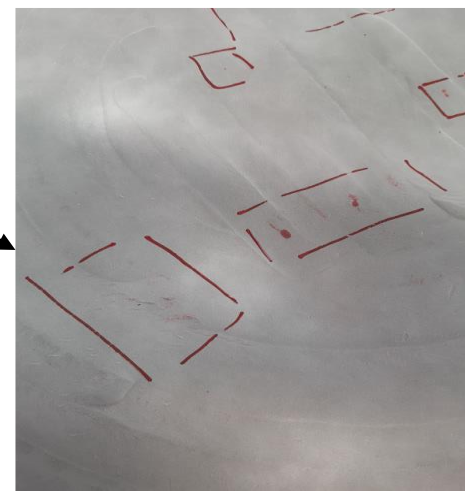
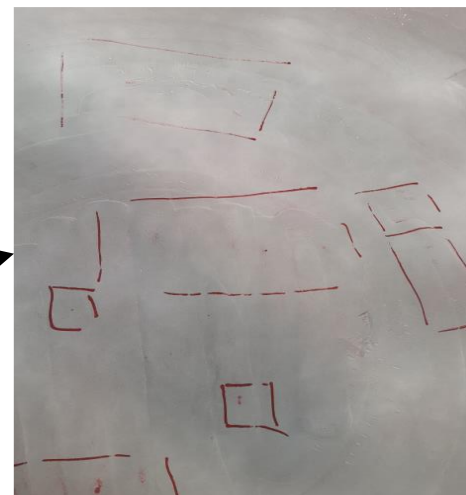
Attività di placcatura di produzione

La prima attività di placcatura è stata eseguita sul fondo ellittico



Rivestimento interno del Main Vessel

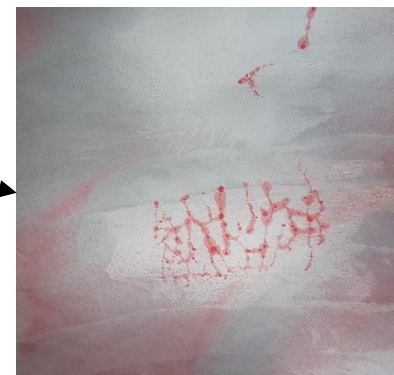
Controllo con liquidi penetranti (PT) sulla superficie del rivestimento



Il controllo PT ha evidenziato una serie di indicazioni localizzate soprattutto nelle zone di inizio e fine passata.

Rivestimento interno del Main Vessel

Leggera molatura delle zone difettate



Stato tensionale risultante è stato tale da superare la resistenza offerta dal deposito e generare le diverse rotture superficiali.

Stessi problemi sono emersi anche dopo i vari tentativi di riparazione (rimozione completa del riporto fino a materiale base con successivo ripristino con processo TIG manuale).



Necessità di valutare soluzioni di deposito alternative

Rivestimento interno del Main Vessel

Ricerca di una soluzione alternativa

Per mitigare tale difettosità si è pensato di adottare i seguenti accorgimenti:

- 1) Interposizione di uno strato intermedio in acciaio al carbonio con funzione di ammortizzatore degli stress termici indotti all'interfaccia (**buffer layer**).
- 2) Utilizzare processi di riporto a filo in modo da limitare la dimensione delle singole passate.



Realizzazione di un mock-up di
qualifica

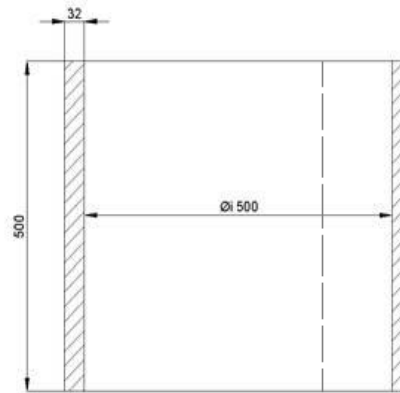


Realizzazione di un mock-up di qualifica

Si è provveduto a realizzare un mock-up di qualifica che potesse essere il più rappresentativo possibile. La prova è stata eseguita su un anello di diametro interno 500mm, ottenuto calandrando un pezzo di lamiera in Alloy 800H di spessore 32 mm.

OBIETTIVO:

- Ottenere un processo stabile
- Ottenere un riporto privo di difetti superficiali (allo stato “come saldato” e dopo un PWHT simulato)
- Ottenere un ridotto contenuto di Ni superficiale
- Caratterizzazione del deposito (analisi chimica, macrografia e prova di durezza)



La prova è stata realizzata depositando in tutto 3 strati, ognuno con spessore di circa 2 mm:

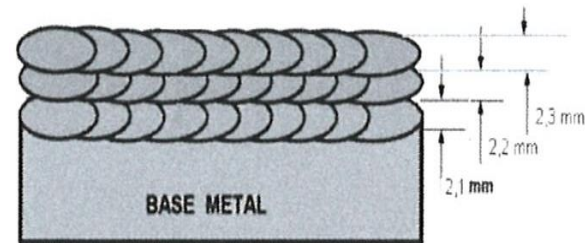
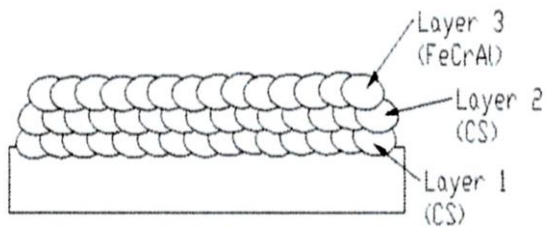
- 2 strati di acciaio al carbonio con processo GMAW meccanizzato (**buffer layer**)
- 1 strato finale con lega FeCrAl con GTAW automatizzato



Realizzazione di un mock-up di qualifica

I parametri di saldatura utilizzati:

Numero di strati	Processo	Gas di protezione	Materiale d'apporto	Corrente (A)	Voltaggio (V)	Velocità (mm/min)	Preriscaldamento (°C)
I e II strato	GMAW Meccanizzato	Ar 82%-CO ₂ 18%	ER70S-6 - Ø1,2	180-250	25-28	350-480	≥ 250
	Post riscaldamento		350°C per 120 minuti				
III strato	GTAW Automatizzato	Ar ≥ 99,6%	FeCrAl Tipo L198 - Ø1,2	170-250	14-17	60-130	≥ 250
	Post riscaldamento		350°C per 120 minuti				



Rivestimento interno del Main Vessel

Realizzazione di un mock-up di qualifica

Il tallone di saldatura è stato sottoposto alle seguenti prove di qualifica (HFO-ASME IX):

- Esame visivo al 100% su ogni strato depositato (allo stato come saldato)
- Liquidi penetranti al 100% sul secondo strato e terzo strato (allo stato come saldato)
- Esame macrografico (trasversale e longitudinale)
- Analisi chimica superficiale
- Prova di durezza HV_{10} (dopo trattamento termico - $900^{\circ} C \pm 10^{\circ} C$ per 120 minuti)
- Liquidi penetranti al 100% sullo strato finale (dopo trattamento termico - $900^{\circ} C \pm 10^{\circ} C$ per 120 minuti)



Realizzazione di un mock-up di qualifica

Risultati ottenuti:

Analisi chimica superficiale

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P	N	Al
0,054	0,404	0,50	8,39	0,90	0,103	0,007	0,026	0,040	2,45

Controllo con PT eseguito sul riporto di placcatura



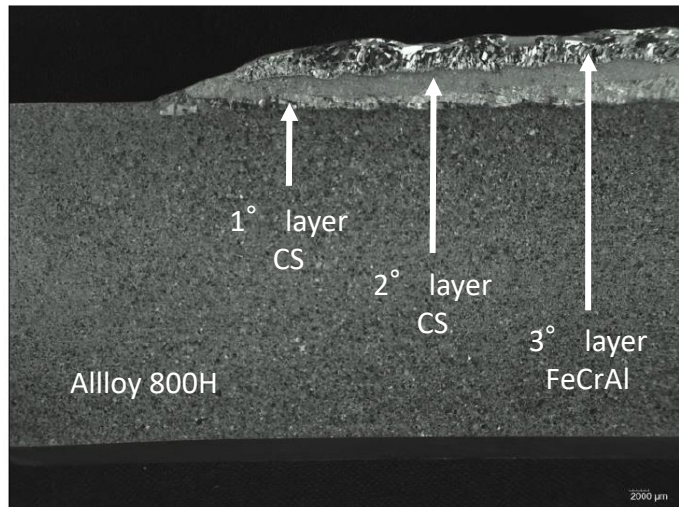
*la foto mostra l'esito del controllo PT dopo PWHT simulato.

Realizzazione di un mock-up di qualifica

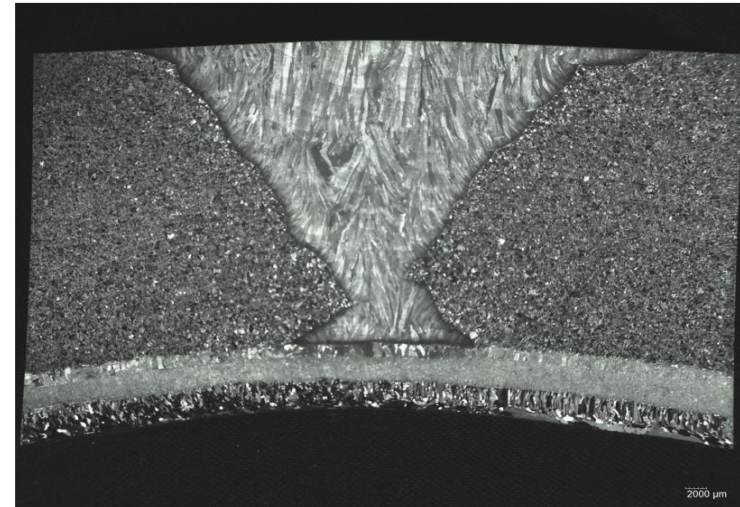
Risultati ottenuti:

Esame macrografico

Sezione longitudinale



Sezione trasversale



I risultati ottenuti in sede di qualifica sono stati più che soddisfacenti, in particolare è stata confermata la capacità dello strato cuscinetto (buffer layer) di assorbire gli stress indotti dal ciclo di saldatura.



È stato deciso di utilizzare la stessa metodologia sulle attività di riporto produzione

Rivestimento interno del Main Vessel

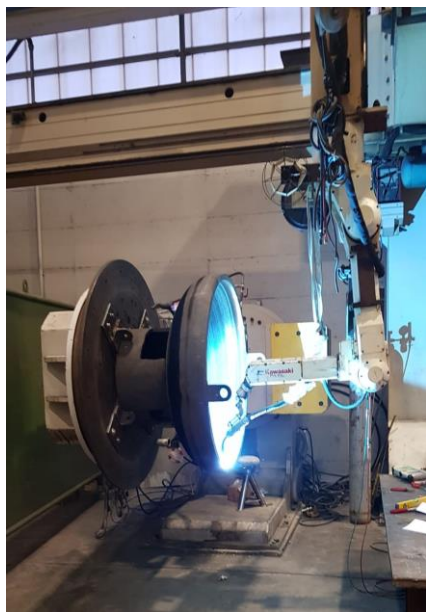
Attività di placcatura di produzione (soluzione alternativa)

Rimozione, con tornio ad asse verticale, del rivestimento inizialmente depositato sul fondo con processo SAW - strip



Attività di placcatura di produzione (soluzione alternativa)

Realizzazione del riporto delle varie parti dell'apparecchio, replicando quanto fatto in sede di qualifica.



*Riporto su fondo ellittico realizzato interpolando la testa di saldatura con la tavola rotante

I successivi esami e controlli non distruttivi hanno confermato l'efficacia della scelta tecnologica, pertanto l'apparecchio completo è stato sottoposto a trattamento termico finale ($T=900^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ per 120 minuti) e successiva prova idraulica.



Giornate
Nazionali di
Saldatura

GNS 11

Genova, 24-25 Giugno 2021
Porto Antico
Centro Congressi

Fasi finali

Prova idraulica



Rivestimento interno del Main Vessel

Fasi finali

Consegna



Rivestimento interno del Main Vessel



Conclusioni



Conclusioni

La ricerca di fluidi in grado di accumulare energia dai raggi solari per poi scambiarla a temperature più elevate di quelle permesse dagli attuali “Sali Fusi”, ha condotto verso sistemi basati sul piombo liquido.

Le attività svolte hanno permesso di superare le problematiche di corrosione, causate dal piombo fuso sugli acciai strutturali, con l’adozione di un rivestimento basato su materiali che promuovono la formazione di uno strato protettivo superficiale di allumina (Al_2O_3).

In particolare, le leghe di tipo FeCrAl (Kanthal[®], LoFer etc.) appaiono fornire una protezione adeguata anche a temperature superiori a 800° C e per tempi superiori alle 1000 ore.

Le difficoltà nel depositare tali materiali, legate soprattutto alla scarsa duttilità del deposito, sono state superate applicando un rivestimento cuscinetto, costituito da 2 strati di acciaio al carbonio, congiuntamente ad un’attenta gestione delle temperature durante tutto il ciclo di rivestimento e del successivo trattamento termico finale.





The research leading to these results has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement **No 721045**.

This document and all information contained herein is the sole property of the NEXTOWER Consortium or the company referred to in the slides. It may contain information subject to Intellectual Property Rights. No Intellectual Property rights are granted by the delivery of this document or the disclosure of its content.

Reproduction or circulation of this document to any third party is prohibited without the written consent of the author(s).

The statements made herein do not necessarily have the consent or agreement of the NEXTOWER consortium and represent the opinion and findings of the author(s).

The dissemination and confidentiality rules as defined in the Consortium agreement apply to this document.

All rights reserved

