

Ricerca di Sistema elettrico



Progettazione e realizzazione mediante processi AM di componenti per impianti di produzione di energia e prove preliminari (LA3.6)

Daniele Mirabile Gattia, Christian Bellusci, Aurora Ayroldi
Angelo Tati, Giuseppe Corallo, Giuseppe De Santis

Progettazione e realizzazione mediante processi AM di componenti per impianti di produzione di energia e prove preliminari

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE MEDIANTE PROCESSI AM DI COMPONENTI PER IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA E PROVE PRELIMINARI (LA3.6)

Daniele Mirabile Gattia, Christian Bellusci, Aurora Ayroldi, Angelo Tati, Giuseppe Corallo, Giuseppe De Santis

ENEA – SSPT-TIMAS-MADD – Laboratorio Tecnologie e Materiali per la Manifattura Additiva

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica -ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: *1.4 Materiali di frontiera per usi energetici*

Linea di attività: LA 3.6

Responsabile del Progetto: Daniele Mirabile Gattia

Responsabile del Work Package: Daniele Mirabile Gattia

Mese inizio previsto: 13

Mese inizio effettivo: 13

Mese fine previsto: 36

Mese fine effettivo: 36

Si ringrazia Riccardo Cristiani, dell’azienda Norblast di Bologna per il supporto nel processo di finitura superficiale dei campioni stampati mediante processo Electron Beam Melting, EBM, e della turbina. Si ringrazia il Prof. Alberto Boschetto, dell’Università “La Sapienza” di Roma per le utili discussioni sui processi di finitura superficiale.

Indice

1	Risultati attesi	5
2	Risultati ottenuti	5
2.1	Effettuazione di processi post-stampa per la riduzione della rugosità superficiale (Riduzione della Ra iniziale di almeno il 20% rispetto a quella di partenza)	5
2.2	Realizzazione di uno strumento per la simulazione di cicli Rankine con fluidi organici (ORC) - Cicli simulati; utilizzo di banche dati open source, per simulare i cicli con diverse condizioni di ingresso e diversi fluidi;	5
2.3	Realizzazione di una turbina, per impianti ORC di potenza inferiore a 10 kW, mediante processo EBM	6
2.4	Realizzazione di un piccolo impianto di test da laboratorio per prove in condizioni, non di esercizio (Valutazione della rotazione della turbina in diverse condizioni di esercizio (portate inferiori a 25 m ³ /h, pressioni inferiori a 4 bar, temperatura ambiente) e/o effettuazione di prove a banco presso un fornitore esterno)	6
2.5	Progettazione di statore e voluta per la turbina realizzata mediante EBM - Dimensione della voluta; rotazione della turbina	6
2.6	Redazione di un rapporto tecnico per LA con tutti i principali risultati sperimentali ottenuti.....	6
3	Prodotti attesi	6
4	Prodotti sviluppati	7
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati	8
6	Sintesi delle attività svolte	8
7	Dettaglio delle attività svolte	9
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte	29
9	Pubblicazioni scientifiche	30
10	Eventi di disseminazione	30
11	Riferimenti Bibliografici.....	33

Indice delle figure

Figura 3: geometria dei campioni utilizzati per processi di mass finishing (sinistra) e campione stampato mediante EBM (destra)	9
Figura 2: forma degli abrasivi nei processi di finitura superficiale	9
Figura 4: campioni realizzati mediante EBM, prima e dopo la preparazione per le osservazioni metallografiche e al SEM.....	10
Figura 5: profilo superficie inclinata a 45° prima del trattamento.....	11
Figura 6: immagine della superficie di un campione realizzato mediante EBM inclinata a 90°. A destra è riportata l'immagine di una sezione d un campione.....	11
Figura 7: profilo di rugosità della superficie inclinata a 45° e a 90° prima e dopo il trattamento superficiale.	12
Figura 8: superficie inclinata a 90° dopo il trattamento di burattatura.	12
Figura 10: Profili di rugosità finali cilindri 15, 17b, 18 e 53.....	13
Figura 11: Immagine SEM cilindri 15 (in alto, sx), 17 (in alto, dx), 18 (in basso, sx), 53 (in basso, dx)	14
Figura 12: turbina intera dopo il processo di sabbiatura e pallinatura	14
Figura 13: turbine a 10 e a 6 palette con spessori maggiorati	15
Figura 14: Diagramma T-S generato dal software ORC_AM per un ciclo ORC che utilizza il fluido R245fa.....	16
Figura 15: schermata del software ORC_AM.....	17
Figura 16: interno della stampante per metalli EBM Arcam A2X e fase di estrazione dei campioni stampati	18
Figura 17: tomografo utilizzato per la ricostruzione della turbina e la verifica dei difetti.....	18
Figura 18: turbina nella cabina tomografica	19
Figura 19: radiografia della turbina ottenuta realizzata mediante EBM.	21
Figura 20: confronto tra la ricostruzione tomografica e il modello CAD della turbina ottimizzata stampata mediante EBM.....	21
Figura 20: chiocciola a sezione semi-circonfrenziale	22
Figura 21: volume fluido della voluta	23
Figura 22: assieme turbina.....	23
Figura 23: configurazione voluta, rotore e statore	24
Figura 25: immagine della voluta	24
Figura 26: stampa della voluta e del rotore mediante processo SLA.....	25
Figura 27: banco prova turbina.....	26
Figura 28: schema dell'impianto di prova.....	26
Figura 29: scheda di acquisizione USB-6000 della National Instruments	27

Figura 30: schermata del programma realizzato per l'acquisizione dei dati del banco prova turbine	29
Figura 31: esempio del file di dati che è possibile acquisire mediante il banco prova.	29
Figura 32: partecipazione al MAKER FAIRE edizione ottobre 2023, con presentazione prototipi	31
Figura 33: partecipazione alla conferenza Zero Emission Mediterranean 2024.....	32
Figura 34: Poster con le attività del progetto presentato alla conferenza Zero Emission Mediterranean 2024.....	32
Figura 35: partecipazione alla fiera MAKER FAIRE 2024.....	33

Indice delle tabelle

Tabella 1: variazione di rugosità prima e dopo il processo di sabbiatura	13
--	----

1 Risultati attesi

Gli obiettivi prefissati per le LA 3.6 sono di seguito riportati:

- Effettuazione di processi post-stampa per la riduzione della rugosità superficiale (Riduzione della Ra iniziale di almeno il 20% rispetto a quella di partenza);
- Realizzazione di uno strumento per la simulazione di cicli Rankine con fluidi organici (ORC)- Cicli simulati; utilizzo di banche dati open source, per simulare i cicli con diverse condizioni di ingresso e diversi fluidi;
- Realizzazione di una turbina, per impianti ORC di potenza inferiore a 10 kW, mediante processo EBM;
- Realizzazione di un piccolo impianto di test da laboratorio per prove in condizioni, non di esercizio (Valutazione della rotazione della turbina in diverse condizioni di esercizio (portate inferiori a 25 m³/h, pressioni inferiori a 4 bar, temperatura ambiente) e/o effettuazione di prove a banco presso un fornitore esterno;
- Progettazione di statore e voluta per la turbina realizzata mediante EBM - Dimensione della voluta; rotazione della turbina
- Redazione di un rapporto tecnico per LA con tutti i principali risultati sperimentali ottenuti.

2 Risultati ottenuti

2.1 Effettuazione di processi post-stampa per la riduzione della rugosità superficiale (Riduzione della Ra iniziale di almeno il 20% rispetto a quella di partenza)

I processi di manifattura additiva per metalli consentono di realizzare componenti "near-net-shape" in lega metallica che possono trovare applicazione in diversi settori tecnologici.

Tra le diverse tecnologie additive presenti, le attività sperimentali si sono concentrate sul processo EBM (Electron Beam Melting), che presenta maggiore velocità di stampa rispetto ai sistemi laser, minore tensioni residue e un minor utilizzo di materiale per la realizzazione dei supporti. I componenti stampati mediante EBM presentano però una rugosità superficiale maggiore rispetto a quelli ottenuti mediante laser. Sono stati quindi effettuati alcuni processi di finitura superficiale che hanno permesso di ridurre notevolmente la rugosità superficiale di campioni di prova e della turbina, superando il target della riduzione del 20% prevista da progetto.

2.2 Realizzazione di uno strumento per la simulazione di cicli Rankine con fluidi organici (ORC) - Cicli simulati; utilizzo di banche dati open source, per simulare i cicli con diverse condizioni di ingresso e diversi fluidi;

La LA di attività prevede la realizzazione di una turbina per impianti Organic Rankine Cycle (ORC), che consentono di produrre energia sfruttando flussi di calore da fonti rinnovabili e di scarto. Al fine del dimensionamento della turbina, mediante un software specifico per turbomacchine, acquisito nella LA 3.1, è stato necessario realizzare uno strumento per la

simulazione dei cicli Rankine a fluido organico. Sulla base di alcune assunzioni iniziali, questo programma fornisce i dati di ingresso necessari al software per turbomacchine. Il programma utilizza la libreria in C++ CoolProp, disponibile gratuitamente, che contiene le equazioni di stato e le proprietà di più di 122 fluidi.

2.3 Realizzazione di una turbina, per impianti ORC di potenza inferiore a 10 kW, mediante processo EBM

Uno degli obiettivi della linea di attività era realizzare, mediante EBM, la turbina per impianti ORC di potenza inferiore a 10kWe. Nella LA 3.1, erano state effettuate alcune prove, che avevano permesso di verificare la validità del processo, ma che avevano anche mostrato alcuni problemi, in particolare le deformazioni. In questa LA sono state realizzate diverse turbine, al fine di dimostrare la riproducibilità del processo e valutare gli scostamenti dimensionali rispetto al modello digitale. In aggiunta all'attività prevista sono state realizzate anche alcune turbine con sovrametallo per valutare la possibilità di effettuare, in futuro, delle lavorazioni meccaniche per ottenere un pezzo finito con una rugosità inferiore rispetto a quella di partenza utilizzando delle macchine a controllo numerico.

2.4 Realizzazione di un piccolo impianto di test da laboratorio per prove in condizioni, non di esercizio (Valutazione della rotazione della turbina in diverse condizioni di esercizio (portate inferiori a 25 m³/h, pressioni inferiori a 4 bar, temperatura ambiente) e/o effettuazione di prove a banco presso un fornitore esterno)

All'interno della LA era prevista la realizzazione di un semplice impianto di test della turbina. L'impianto realizzato consente di mettere in rotazione la turbina, di controllare il numero di giri e di misurare la tensione a circuito aperto o chiuso generata ai capi dei morsetti di un piccolo generatore.

2.5 Progettazione di statore e voluta per la turbina realizzata mediante EBM - Dimensione della voluta; rotazione della turbina

Sono stati progettati statore e voluta per una turbina per la produzione di energia mediante impianti di tipo ORC con potenza inferiore a 10kWe. Questi sono stati poi stampati in scala per i test su banco prova.

2.6 Redazione di un rapporto tecnico per LA con tutti i principali risultati sperimentali ottenuti

Il presente rapporto descrive nel dettaglio tutti i risultati sopra riportati e previsti all'interno delle attività di progetto.

3 Prodotti attesi

I prodotti attesi nella LA sono di seguito riportati:

- Strumento per la simulazione di cicli Rankine con fluidi organici (ORC) - Cicli simulati; utilizzo di banche dati open source, per simulare i cicli con diverse condizioni di ingresso e diversi fluidi;
- Realizzazione di una turbina, per impianti ORC di potenza inferiore a 10 kW, mediante processo EBM;
- Report tecnico descrittivo delle attività effettuate nella LA 3.6.

4 Prodotti sviluppati

Le attività sperimentali condotte hanno permesso di completare tutti i principali prodotti previsti nella LA 3.6 entro la fine del progetto.

E' stato realizzato all'interno della LA 3.6, partendo da quanto sviluppato nella LA 3.5, un software che consente di conoscere le principali proprietà di un numero considerevole di fluidi di lavoro, tra i quali è possibile trovare quelli utilizzabili in impianti di tipo Organic Rankine Cycle (ORC). Il software, sviluppato in LabView, consente di interrogare un database open source e disponibile in rete. Inoltre è possibile determinare le curve di saturazione dei fluidi e definire all'interno della curva un ciclo termodinamico. Il software ORC_AM utilizza il database opensource Coolprop [i,ii], il quale contiene le proprietà termodinamiche di 122 diversi fluidi. Inoltre la comunità di Coolprop ha realizzato diversi moduli software (wrappers) per poter utilizzare il database con svariati software di programmazione. E' possibile quindi determinare alcuni dati che servono come input per il software di progettazione per turbomacchine acquisito nella LA 3.5.

E' stata inoltre realizzata mediante processi di manifattura additiva l'intera turbina per un impianto ORC. La stessa è stata poi montata su un banco prova per valutarne la funzionalità. Le condizioni di funzionamento sono state: portata aria inferiore a 50 m³/h, pressione inferiore a 4 bar e velocità rotazione a vuoto inferiore a 9000 giri. Il sistema di acquisizione dei dati, con misura della velocità di rotazione del rotore, misura della portata e della tensione generata ai capi del generatore può essere riutilizzato in un impianto più grande per effettuare misure di efficienza.

Oltre alla realizzazione della turbina, come sopra descritto, sono state realizzate due giranti con le palette ispessite. Queste sono state oggetto di consultazione con diverse aziende, presenti sul territorio italiano, al fine di valutare la possibilità di effettuare delle lavorazioni meccaniche sulle palette per migliorare la finitura superficiale dei componenti prodotti mediante EBM.

In aggiunta a quanto previsto sono stati effettuati trattamenti di finitura superficiale, con processi di sabbiatura e pallinatura, sui campioni realizzati mediante processo additivo con fascio di elettroni e a letto di polvere. Tra questi è stata trattata anche un'intera girante. L'attività è stata possibile anche grazie una collaborazione con l'azienda Norblast di Bologna. Alcuni trattamenti sono stati effettuati, nell'ambito di due tesi di laurea, presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica dell'Università degli studi di Roma "La Sapienza".

In ultimo è stato preparato il presente rapporto tecnico descrittivo di tutte le attività sperimentali previste nella LA 3.6.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Le attività sperimentali della LA 3.6 non presentano scostamenti rispetto a quanto previsto nella proposta e non sono individuabili criticità rispetto a quanto previsto nel piano di rischio.

Sono state inizialmente incontrate alcune criticità nella realizzazione delle giranti a causa delle deformazioni e delle difformità rispetto al modello digitale. Questo problema è stato però risolto, come dimostrato dalle prove non distruttive che hanno mostrato una ottima aderenza della turbina stampata al modello digitale. Inoltre sono state realizzate alcune turbine, inizialmente non previste, per poter valutare la possibilità di effettuare delle lavorazioni meccaniche al fine di ridurre la rugosità superficiali. Questa attività ha visto alcuni incontri e discussioni con aziende del territorio italiano, che hanno nei loro stabilimenti macchine a controllo numerico a 5 assi. Queste sono tra le attrezzature deputate a poter effettuare lavorazioni su componenti con geometria così complessa. La consultazione con le aziende, ha evidenziato inoltre come la lavorazione richieda una fase preliminare di ricostruzione della geometria. Non essendo previsto nel progetto, e richiedendo un budget aggiuntivo, non sono state effettuate lavorazioni meccaniche di finitura con CNC a 5 assi, ma è stata valutata, con persone del settore, la fattibilità di queste lavorazioni al fine di migliorare ulteriormente il componente finale.

Per quanto riguarda le indagini sulla rugosità era prevista una caratterizzazione dei componenti stampati e la valutazione dei processi che possono essere utilizzati per ridurre la rugosità. Sono stati invece realizzati diversi campioni, di geometria differente che sono stati processati mediante apparecchiature presenti presso l'Università di Roma "La Sapienza" e presso l'azienda Norblast, di Bologna. I risultati ottenuti dimostrano come sia possibile ridurre drasticamente la rugosità superficiale di un componente realizzato mediante EBM, in un materiale generalmente difficile da lavorare, quale la lega di titanio.

6 Sintesi delle attività svolte

L'attività sperimentale si inserisce all'interno del contesto energetico italiano ed europeo che punta a una maggiore indipendenza energetica alla decarbonizzazione. Questi aspetti vengono ribaditi all'interno del PNIEC 2024, nel Set Plan, in RepowerEU e altri programmi internazionali. Questa transizione non può avvenire se non mediante l'introduzione di nuove tecnologie che possono essere accoppiate con le fonti rinnovabili e allo sviluppo di nuovi materiali e processi innovativi. Negli anni '80, sono stati realizzati i primi prototipi e impianti Organic Rankine Cycle, ORC, basati sul ciclo termodinamico di un fluido organico in un sistema chiuso. Questi impianti presentano un'enorme flessibilità e semplicità realizzativa e di installazione. Possono essere accoppiati con fonti di energia rinnovabile, quali il solare termico, il geotermico, le biomasse, e con flussi di calore di scarto. Sfruttano calore a bassa entalpia che non verrebbe altrimenti utilizzato con i sistemi convenzionali. Non presentano, per la loro realizzazione, materie prime critiche. Le attività sperimentali della LA 3.6 si inseriscono in questo scenario e sono volte alla realizzazione, mediante processi produttivi innovativi ed efficienti, quali quelli additivi, di componenti per impianti ORC.

7 Dettaglio delle attività svolte

Al fine di valutare la possibilità di ridurre, mediante processi di mass finishing, la rugosità superficiale dei campioni realizzati mediante EBM, sono stati realizzati dei campioni con un'opportuna geometria (Figura 1). Questa geometria consente di valutare l'effetto del processo di mass finishing su superfici ottenute a diverse angolazioni rispetto al piatto di stampa. Questo consente di valutare l'effetto del processo sulle diverse superfici diversa rugosità in funzione dell'inclinazione rispetto alla direzione di stampa.

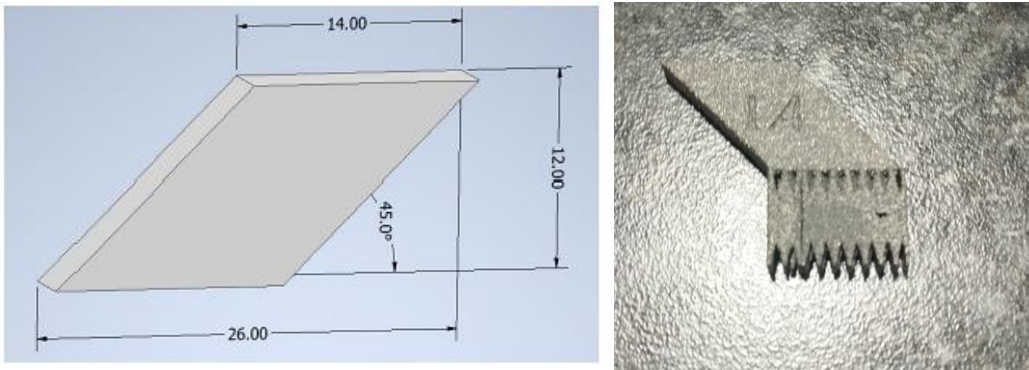


Figura 1: geometria dei campioni utilizzati per processi di mass finishing (sinistra) e campione stampato mediante EBM (destra)

Sono stati effettuati diversi trattamenti, anche per diverse ore, utilizzando un buratto.

La Figura 2 riporta la forma di diversi tipi di abrasivi che possono essere usati in processi di finitura superficiale.

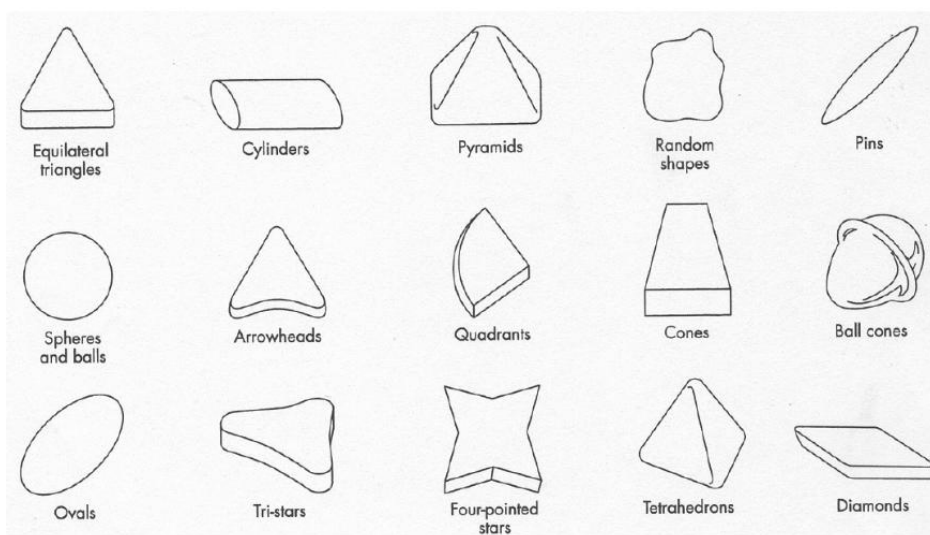


Figura 2: forma degli abrasivi nei processi di finitura superficiale

Per effettuare le misure di rugosità è stato usato il SurfTest SJ-410. Questo è uno strumento per la misura della rugosità e dell'ondulazione superficiale, che rileva le superfici del componente in esame, ne calcola la rugosità superficiale in base ai parametri di rugosità e ne visualizza i risultati. Un rilevatore, chiamato "stilo", fissato all'unità detector (palpatore in diamante) dell'SJ-410 rileva le minime irregolarità della superficie del pezzo di lavorazione. L'oscillazione verticale dello stilo e il movimento orizzontale durante la rilevazione vengono elaborati e visualizzati sul display digitale dello schermo touch LCD, con la possibilità di stampa del profilo grazie alla stampante in esso integrata.

Alcuni provini sono stati trattati con il Buratto Rotar EMI Series con potenza massima di circa 5,7kW, velocità di rotazione fino a 42 Rpm. Questa è una macchina per la finitura, a barile rotante ottagonale, a flusso pieno. Tra le sue principali caratteristiche, questa possiede un sistema di controllo elettrico a velocità variabile, con interruttore automatico e sistema di temporizzazione. Il barile rotante ha un rivestimento interno in gomma per resistere agli acidi, agli alcali e all'abrasione. La tavola di scarico sottostante il barile è anch'essa rivestita in gomma per resistere agli acidi e all'abrasione, ma anche per eliminare l'urto del pezzo durante la fase di scarico.

Le attività sperimentali hanno previsto la preparazione dei campioni in lega metallica, secondo una procedura metallografica classica. I campioni sono stati sezionati con una taglierina Secotron 200 della Remet, utilizzando una lama diamantata. Dopo il taglio, questi sono stati inglobati a caldo utilizzando un composto termoplastico acrilico. Successivamente, sono stati rettificati e lucidati utilizzando una levigatrice Tegramin-20 della Struers. La rettifica è stata effettuata mediante delle carte abrasive con Carburo di Silicio di dimensione decrescente, partendo da P240 fino ad arrivare a P1200 (FEPA). La lucidatura è invece stata effettuata utilizzando dei panni e delle sospensioni diamantate di dimensione da 6 μ m a 0,25 μ m. Durante queste due fasi è stato utilizzato un opportuno lubrificante al fine di evitare un eccessivo riscaldamento delle carte e dei panni e al fine di preservare la superficie del campione.

Durante la procedura sopra descritta, il lapidello ed il porta campioni sono stati fatti ruotare in direzioni opposte, per ottimizzare il processo di preparazione.

In Figura 3 è riportato un esempio di un campione realizzato in Casaccia mediante EBM. Il campione è stato inglobato e preparato per le osservazioni al SEM. Queste osservazioni consentono di valutare, con elevata risoluzione spaziale, la rugosità superficiale del campione in una determinata sezione dello stesso.

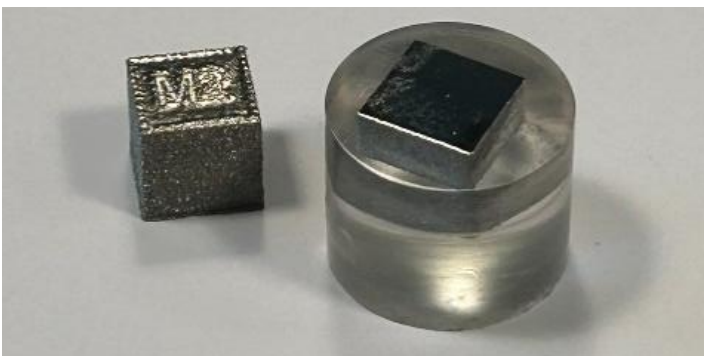


Figura 3: campioni realizzati mediante EBM, prima e dopo la preparazione per le osservazioni metallografiche e al SEM.

I campioni realizzati con processo EBM, sono stati sottoposti a trattamenti di mass finishing con l'obiettivo di ridurre la rugosità superficiale cercando di mantenerne la forma.

In particolare, i campioni di forma parallelepipedica, già descritti, sono stati oggetto di sperimentazioni di burattatura e vibrofinitura. Altri campioni, in forma di palette di turbina e di cilindri, prodotti con EBM presso il CR Casaccia sono stati inviati all'azienda Norblast S.r.l. per lavorazioni di pallinatura e sabbiatura. Questi processi hanno permesso di valutare le variazioni di rugosità in funzione del trattamento di post-processing.

La Figura 4 mostra il profilo di uno dei campioni realizzati e con superficie inclinata a 45° prima del trattamento superficiale. La Figura 5 mostra la superficie di un campione realizzato mediante EBM inclinata a 90°. A destra è riportata l'immagine di una sezione d un campione. E' possibile notare come la superficie dei campioni realizzati mediante EBM presenti un'elevata rugosità superficiale generata soprattutto dalle particelle parzialmente fuse in prossimità della superficie. Il processo di burattatura è stato effettuato con i seguenti parametri: Riempimento del barile: 50% del volume; Composizione carica: 31kg di media, 10kg acqua, 150 ml di compound; Velocità di rotazione: 40 rpm.

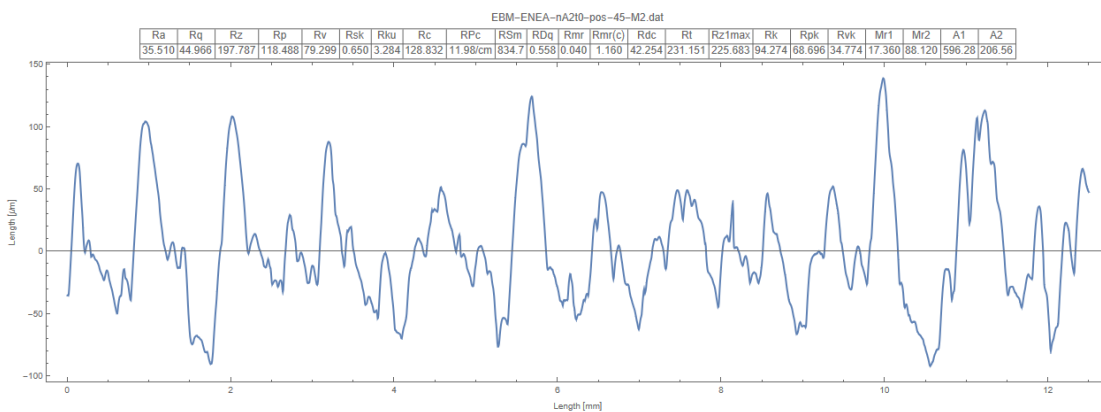


Figura 4: profilo superficie inclinata a 45° prima del trattamento.

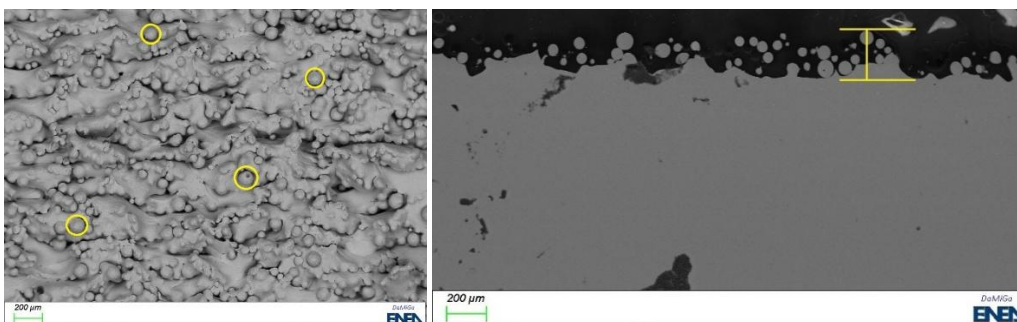


Figura 5: immagine della superficie di un campione realizzato mediante EBM inclinata a 90°. A destra è riportata l'immagine di una sezione d un campione.

In Figura 6 è riportato il profilo ottenuto con rugosimetro delle superfici inclinate a 45° e 90° dopo il trattamento effettuato con buratto. L'immagine mostra come questo processo di finitura, applicato ai campioni descritti sopra, permetta di ridurre le asperità superficiali (picchi), mentre non consenta la rimozione dei minimi.

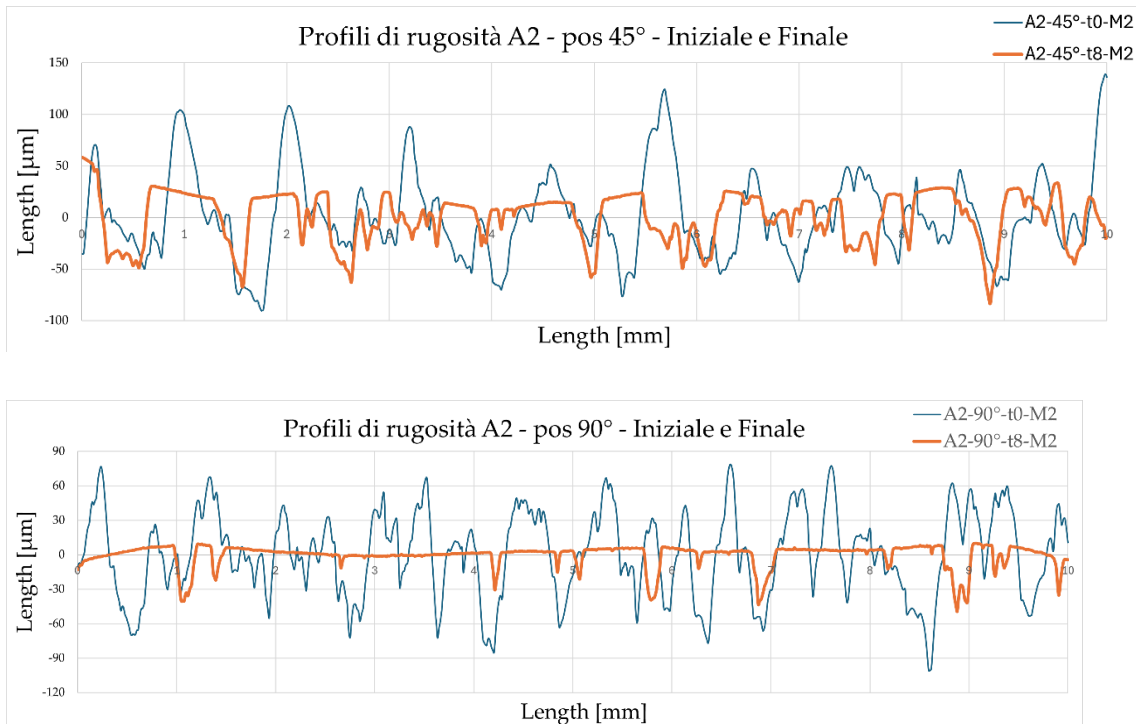


Figura 6: profilo di rugosità della superficie inclinata a 45° e a 90° prima e dopo il trattamento superficiale.

Quanto sopra riportato è verificato grazie alle osservazioni effettuate al SEM (Figura 7).

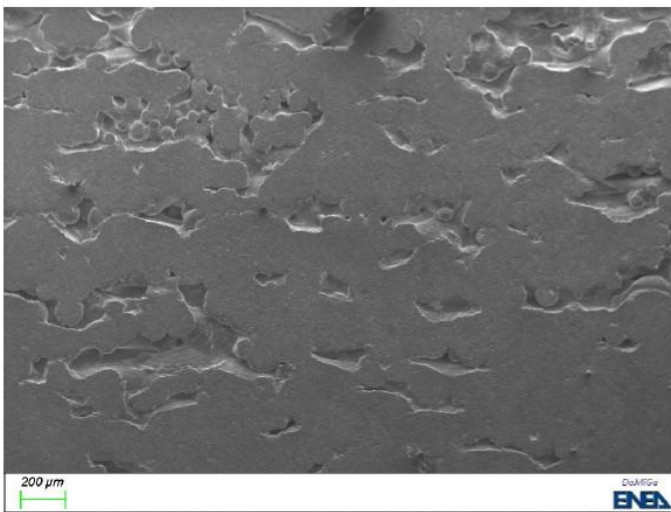


Figura 7: superficie inclinata a 90° dopo il trattamento di burattatura.

Oltre alle prove effettuate con il buratto sono stati effettuati trattamenti di sabbiatura e di pallinatura effettuate presso l'azienda Norblast. Sono stati preparati dei campioni con geometria simile a quello delle palette della turbina per l'impianto ORC. Sono state effettuate misure di rugosità prima e dopo la sabbiatura e la burattatura. Ogni misurazione è stata ripetuta almeno tre volte, al fine di ottenere dati sperimentali più accurati.

Nella Tabella 1 sono riportati i parametri di rugosità relativi ai campioni 15, 17b, 18 e 53 trattati attraverso processi di sabbiatura, 15 e 17b, e di sabbiatura e pallinatura, 18 e 53, rispettivamente.

Tra i diversi cilindri trattati, alcuni presentano una riduzione percentuale della rugosità media anche superiore al 70%. I campioni hanno presentato una ridotta smussatura dei bordi rispetto agli altri processi di finitura provati.

Tabella 1: variazione di rugosità prima e dopo il processo di sabbiatura

		15	17b	18	53
		Variazione	Variazione	Variazione	Variazione
		%	%	%	%
Ra	um	68	69	72	72
Rq	um	69	69	72	73
Rz	um	71	74	76	76
Rp	um	70	75	75	78
Rv	um	71	73	76	73
Rsk		73	209	-6	132
Rku		8	6	10	5
Rc	um	66	70	70	71
RPc	/cm	38	52	47	61
RSm	um	-61	-111	-93	-160
RDq		64	81	87	87
Rmr	%	25	-25	6	-50
Rmr(c)	%	12	-72	-98	-103
Rdc	um	70	72	70	69
Rt	um	70	74	78	72
Rz1max	um	70	75	77	73
Rk	um	67	71	73	75
Rpk	um	69	72	76	73
Rvk	um	74	68	75	58
Mr1	%	24	4	-19	-47
Mr2	%	1	4	2	2
A1		77	72	71	65
A2		69	48	69	51

In Figura 8 sono riportati i profili di rugosità dei campioni dopo il processo di sabbiatura e pallinatura.

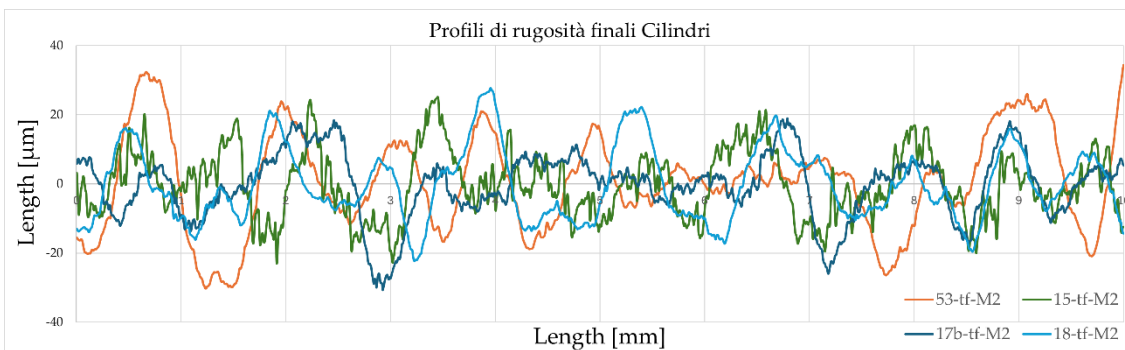


Figura 8: Profili di rugosità finali cilindri 15, 17b, 18 e 53.

Le osservazioni al SEM dimostrano come gli effetti dei trattamenti effettuati siano riproducibili. Infatti i campioni trattati con processi simili presentano anche una finitura superficiale analoga (Figura 9).

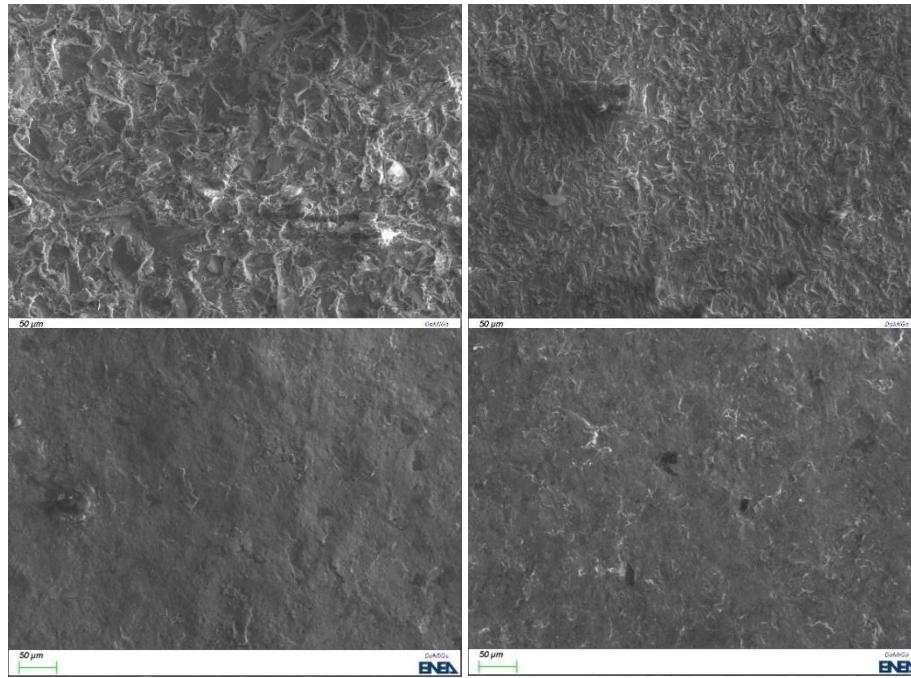


Figura 9: Immagine SEM cilindri 15 (in alto, sx), 17 (in alto, dx), 18 (in basso, sx), 53 (in basso, dx)

A valle della campagna di trattamenti effettuati sui campioni prodotti mediante EBM, volti all'ottimizzazione dei principali parametri, è stata trattata un'intera turbina, con l'intento di mostrare l'effetto dei trattamenti di sabbiatura e pallinatura su componenti complessi. In Figura 10 è visibile la turbina dopo il trattamento superficiale. E' importante notare come è stato possibile effettuare questo trattamento su palette di dimensione molto ridotta, con spessore inferiore a 1 mm.

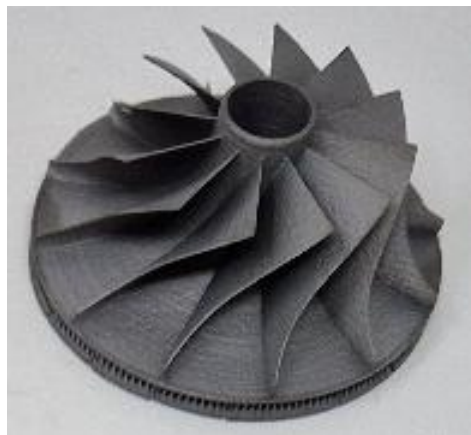


Figura 10: turbina intera dopo il processo di sabbiatura e pallinatura

Lo studio dei trattamenti superficiali ha permesso di verificare la possibilità di ridurre la rugosità superficiale dei componenti stampati mediante EBM oltre il target di progetto (riduzione del parametro $Ra > 20\%$). Questo tipo di processi può essere automatizzato con sistemi CAD-CAM, implementando ulteriormente il livello di riproducibilità ottenibile. In aggiunta a quanto richiesto e previsto nel progetto è stata esplorata anche la possibilità di effettuare delle lavorazioni meccaniche sui pezzi stampati "near-net-shape". Le macchine che potrebbero consentire, con opportuni utensili e parametri di processo, di poter lavorare componenti con geometria complessa, quale quella di una turbina, sono macchine CNC a 5 assi

in dinamico. Queste attrezzature hanno un numero elevato di gradi di libertà e sono presenti sul mercato macchine completamente automatizzate, nelle quali il cambio utensile viene gestito dalla strategia di lavorazione. Le lavorazioni meccaniche, durante l'asportazione di materiale possono sollecitare strutture a sbalzo quali le palette della girante, causandone la rottura. Per questo motivo sono state realizzate delle turbine con spessore maggiorato (>1.5 mm), rispetto alla geometria di riferimento (Figura 11). Le lavorazioni su queste turbine richiederebbe un tempo limitato essendo lo spessore da rimuovere di pochi decimi di millimetro. In questo caso le due tecnologie, additiva e sottrattiva, potrebbero integrarsi al fine di ridurre drasticamente il materiale di scarto che si avrebbe effettuando solo lavorazioni meccaniche. Le consultazioni avute con alcune aziende presenti sul territorio ha permesso di valutare positivamente questo approccio, che potrà essere seguito in futuro.

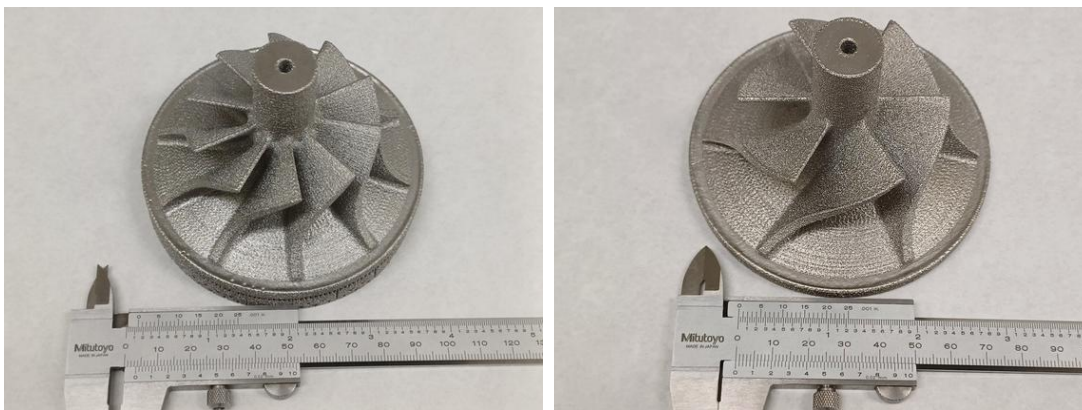


Figura 11: turbine a 10 e a 6 palette con spessori maggiorati

Nell'ambito del progetto è stato implementato in LabView un software che consente di ottenere da una parte le proprietà di diversi fluidi di interesse per impianti ORC, di determinarne le curve di saturazione e di definire il ciclo termodinamico del fluido. Inoltre, dopo l'inserimento di alcuni dati di input, è possibile ricavare come output i dati necessari per la progettazione, mediante un software per turbomacchine, della girante, del rotore e della voluta di una turbina per impianti ORC.

Il software ORC_AM utilizza il database opensource Coolprop [i,ii], il quale contiene le proprietà termodinamiche di 122 diversi fluidi. La comunità di Coolprop ha realizzato diversi moduli software (wrappers) che consentono di utilizzare il database con diversi software di programmazione.

Nel software il ciclo è stato implementato considerando le seguenti assunzioni:

- la compressione è una trasformazione isotropica (1-2);
- nel tratto 2-3 avviene un pre-riscaldamento mediante il rigeneratore;
- il riscaldamento è una trasformazione isobara (3-4);
- L'espansione in turbina è una trasformazione isoentropica ideale (4-5_{is}), e tenendo conto di un'efficienza stimata della turbina è possibile determinare le condizioni del fluido in un'espansione reale (4-5);
- il raffreddamento è una trasformazione isobara e isoterma (6'-1);

In Figura 12 è riportato il diagramma T-S ottenuto mediante il software ORC_AM. Il fluido di lavoro in questo caso è l'R245fa.

In Figura 13 è invece riportata la schermata del software dove è possibile inserire i dati di input per la determinazione del ciclo del fluido di lavoro per l'impianto ORC e i dati che possono essere forniti al software CFTurbo per la progettazione della turbina.

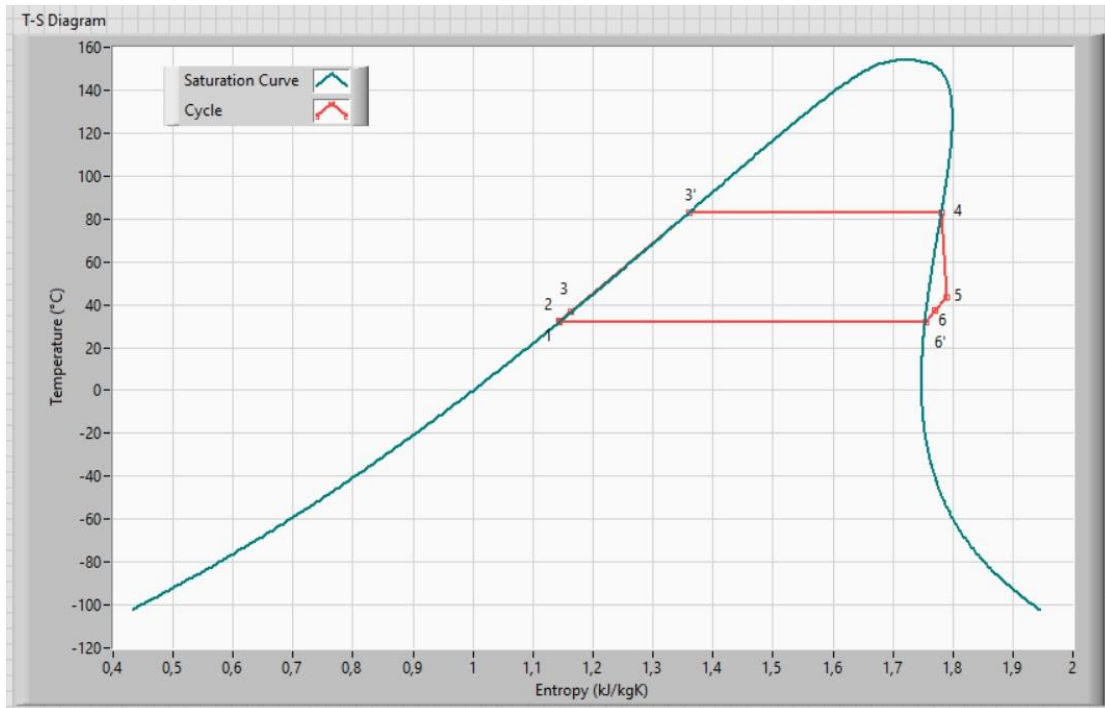


Figura 12: Diagramma T-S generato dal software ORC_AM per un ciclo ORC che utilizza il fluido R245fa

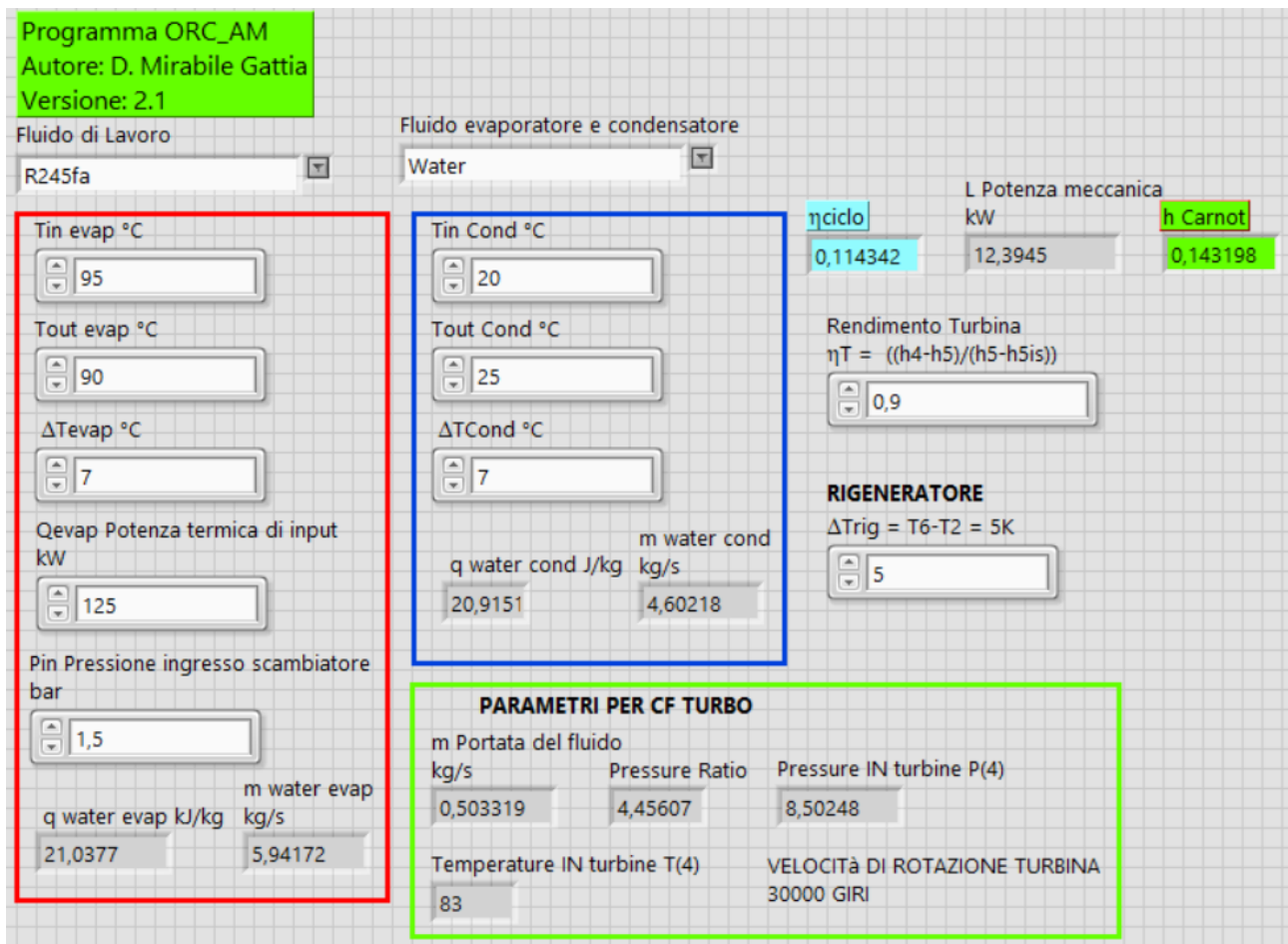


Figura 13: schermata del software ORC_AM.

La tecnologia a fascio di elettroni, Electron Beam Melting (EBM), a letto di polvere consente di stampare componenti in lega metallica a partire da polveri con elevata sferoidicità (Figura 14). Le polveri per questo tipo di processi vengono realizzate mediante processi di gas atomizzazione. Nella gas atomizzazione il metallo fuso viene disperso da un getto di un gas, quale argon, azoto o elio, in forma di gocce di diversa dimensione che raffreddano e si raccolgono sul fondo della camera, dalla quale è possibile recuperarle in forma di polvere. Questa viene successivamente setacciata per ottenere le diverse granulometrie. Nei processi EBM le polveri hanno dimensioni comprese tra 45 e 106 μm. Rispetto ad altri processi additivi l'EBM presenta alcuni vantaggi, tra i quali: la maggiore pulizia delle polveri durante il processo, che avviene sottovuoto; l'elevata produttività che può arrivare a 80 cm³/h; l'assenza di tensioni residue nei componenti, per i quali non è richiesto un trattamento termico dopo la stampa; un minor utilizzo di supporti e la possibilità di recuperare totalmente la polvere non fusa; la possibilità di stampare anche all'interno della polvere. Nel caso delle giranti l'utilizzo dell'EBM è particolarmente interessante perché è possibile stampare le palette di turbina, con spessori anche molto piccoli, inferiori al millimetro, senza dover utilizzare supporti. La turbina presenta in genere una geometria molto complessa che può essere realizzata anche con macchine a controllo numerico a 5 assi in dinamico. Però, con semplici calcoli, è possibile verificare come è possibile utilizzare più dell'80% di materiale in meno rispetto al caso delle lavorazioni meccaniche. Partendo da queste considerazioni l'attività sperimentale è stata focalizzata sulla realizzazione di turbine per impianti Organic Rankine Cycle, ORC, di potenza inferiore a 10 kWe. Nelle prove effettuate nella LA 3.1 era stato possibile verificare la possibilità di stampare la girante, ma questa presentava delle deformazioni.



Figura 14: interno della stampante per metalli EBM Arcam A2X e fase di estrazione dei campioni stampati

Nella LA 3.6 è stato ottimizzato il processo di stampa dimostrando che è possibile realizzare turbine senza deformazioni. Le turbine realizzate mediante processo EBM sono state caratterizzate mediante Tomografia Computerizzata, utilizzando il tomografo XE-L HE della Gilardoni (Figura 15) con le seguenti caratteristiche:

- Sorgente Minifuoco da 450 kV
- Sorgente Microfuoco addizionale da 150 kV
- Rilevatore 2D (Detector) di tipologia Flat Panel da 16" 16 bit
- Rivelatore lineare a diodi da 614 mm



Figura 15: tomografo utilizzato per la ricostruzione della turbina e la verifica dei difetti.

L'impianto è dotato di una sorgente a raggi X bipolare, con radioprotezione integrata, adatta all'ispezione radiosopica e tomografica di oggetti di grandi dimensioni e/o elevate caratteristiche di assorbimento. La sorgente è comprensiva di un doppio punto focale, un

anodo con target in tungsteno e un raggio direzionale. Il tubo è specificamente progettato per applicazioni di imaging non distruttive. Il sistema raggi X è dotato di un gruppo di raffreddamento ad olio adeguato al funzionamento in continuo della sorgente a raggi X. Sono inclusi 2 generatori (anodico e catodico), ciascuno da 225 kV. La somma dei 2 generatori permette di raggiungere l'energia di 450 kV HP (alta potenza)

Fuoco piccolo: 0,15 (IEC 336) / 0,4* (EN12543) 700 W

Fuoco grande: 0,4 (IEC 336) / 1,0 (EN12543) 1500 W

Sorgente Microfuoco di tipo "chiuso" in aggiunta alla sorgente principale per la tomografia di oggetti di piccole dimensioni con precisioni che possono arrivare a pochi micron. Le caratteristiche della sorgente microfuoco sono:

- tensione massima 150kV con filtrazione di 0,2 μm di Berillio
- macchia focale di 5 μm con potenza di 4W
- macchia focale di 7 μm con potenza di 10W
- macchia focale di 20 μm con potenza di 30W
- macchia focale di 50 μm con potenza di 75W

Il Flat Panel è un sensore digitale di ultima generazione che utilizza la tecnologia del silicio amorfo per convertire l'energia dei raggi-X in segnali elettrici. Rispetto ai tradizionali intensificatori di brillantezza questo tipo di pannelli presentano: assenza di distorsione geometrica dell'immagine; effetto abbagliamento notevolmente contenuto; elevata sensibilità; assenza di errori e disturbi introdotti generalmente dalla catena IB-Ottica-Telecamera. Il sensore è collegato al PC tramite interfaccia fibra ottica e l'elettronica di controllo a bordo è protetta dalla radiazione diretta grazie ad una schermatura in tungsteno.

I campioni vengono alloggiati su un materiale a bassa densità, "trasparente" ai raggi X, e posizionati tra la sorgente e il pannello (Figura 16).

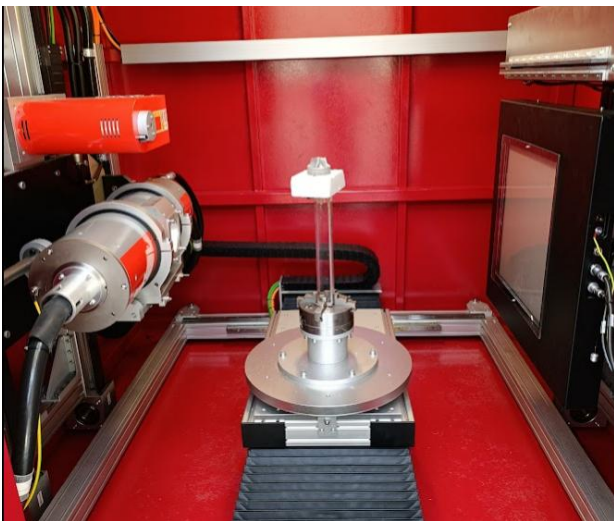


Figura 16: turbina nella cabina tomografica

Vengono di seguito riportati i parametri utilizzati per la ricostruzione tomografica:

*** CONE BEAM CT SCAN DATA ***

Durata della scansione: circa 1 ora;
kV: 200.00 mA: 3.50
Scan with 1440 projections
Projection integration: 3 frames
Turnable acceleration: LOW
Projections dimensions:
 Width: 4096
 Height: 4096
Sensor settings:
 Gain: 2
 Exposure: 2
 Binning: 1
FDD: 1094.0
FOD: 537.0
Estimated Rotation Center offset: 0.00
Risoluzione 50 micron

Il sistema tomografico della Gilardoni è corredato inoltre dei seguenti elementi:

- Software base, VGStudio MAX 3.5.2 64 Bit
- Modulo Ricostruzione CT (Cone Beam, Fan Beam, Parallel Beam)
- Workstation per il processamento dei dati

Le indagini tomografiche richiedono un enorme mole di dati da immagazzinare e da processare e per questo motivo è necessario l'utilizzo di una workstation dedicata con sistemi di storage esterni per poter effettuare dei backup delle tomografie realizzate sui diversi componenti.

Il software consente di individuare porosità, fori e inclusioni all'interno di componenti, fornendo informazioni dettagliate in merito ai difetti, e calcola vari parametri per ogni difetto (posizione del difetto, compattezza, dimensioni e geometria, distanza dal difetto più vicino, distanza di ogni difetto da una superficie di riferimento). Inoltre determina la percentuale generale di porosità visualizzandola in istogrammi.

In Figura 17 è possibile osservare la radiografia di una delle turbine realizzate nel progetto. Le indagini non hanno evidenziato difetti all'interno del componente.

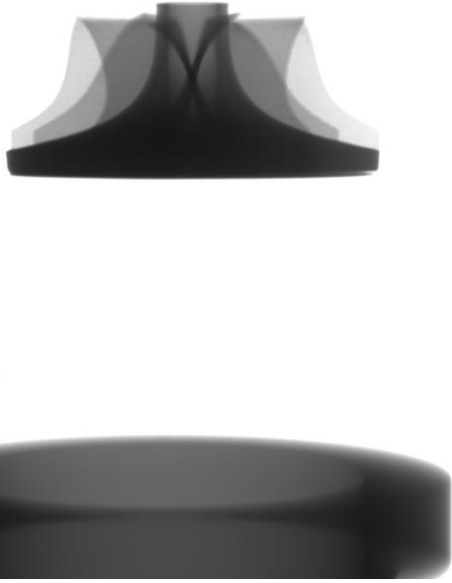


Figura 17: radiografia della turbina ottenuta realizzata mediante EBM.

La ricostruzione tomografica della turbina stampata mediante EBM, dopo l'ottimizzazione dei supporti e del posizionamento sul piatto di stampa, mostra come la differenza tra il modello CAD e il file ottenuto attraverso la ricostruzione è dell'ordine del decimo di millimetro (Figura 18).

In verde le zone con nessuna o limitata differenza geometrica. Le zone in viola, sono dovute ad un artefatto causato dall'energia dei Raggi X incidenti, non sufficienti a superare lo spessore del campione nelle parti più spesse. Questo avviene principalmente alla base e sui bordi delle palette, dove è presente il diametro maggiore.

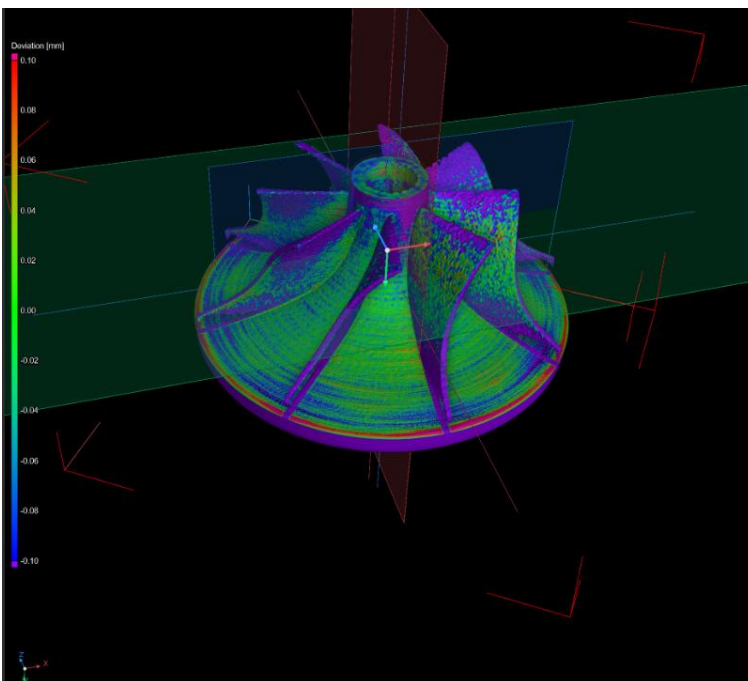


Figura 18: confronto tra la ricostruzione tomografica e il modello CAD della turbina ottimizzata stampata mediante EBM.

All'interno dell'LA 3.6 era previsto oltre al progetto della girante anche quello della voluta e dello statore. Per la realizzazione di tutti gli elementi costitutivi della turbina, è stato utilizzato lo stesso software per turbomacchine acquisito nell'ambito della LA 3.5. In vista della realizzazione di un piccolo impianto di prova, il rotore è stato modificato per alloggiare un albero con diametro pari a 8 mm, che verrà successivamente fissato mediante un opportuno serraggio.

Si è scelto di progettare la voluta a sezione semicircolare in modo che lo statore presentasse una superficie prettamente piana e potesse essere stampato mediante tecnologie SLA o FDM. E' stato inoltre previsto uno sbalzo in modo tale da limitare quanto più possibile le perdite di fluido. La geometria è stata realizzata in previsione di una maggiore semplicità di assemblaggio al fine della realizzazione di un piccolo banco prova. Il percorso del fluido avviene comunque attraverso le geometrie di progetto definite dal software di progettazione per turbomacchine. Tra voluta e statore è previsto, nel banco prova, l'utilizzo di una guarnizione in gomma sagomata. I due componenti verranno poi serrati su di essa attraverso dei bulloni eliminando fuoriuscite di fluido durante la prova.

Per quanto riguarda la voluta il software genera il design del solo volume fluido; dunque, tutta l'architettura è stata poi realizzata mediante un software CAD. Per motivi costruttivi si è scelta una cavità a sezione semi circonferenziale (Figura 19)

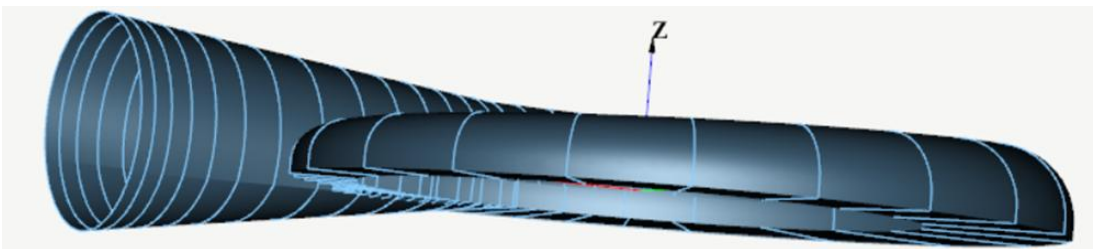


Figura 19: chiocciola a sezione semi-circonferenziale

La geometria a chiocciola (Figura 20) consente la corretta erogazione del flusso del fluido dal suo interno verso lo statore. In Figura 21 è possibile osservare l'assieme della turbina così come progettata utilizzando un software per turbomacchine.

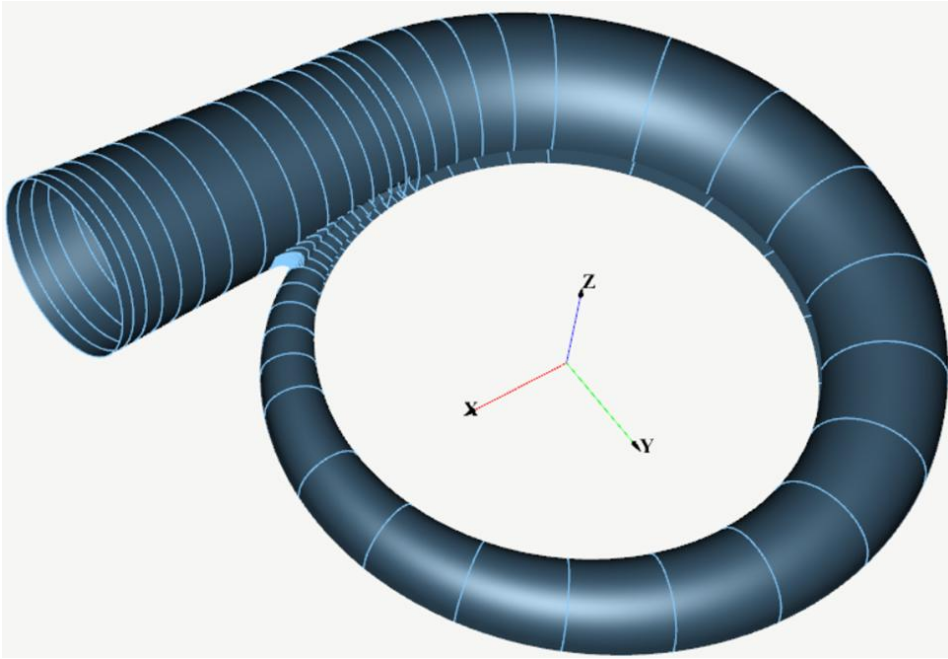


Figura 20: volume fluido della voluta

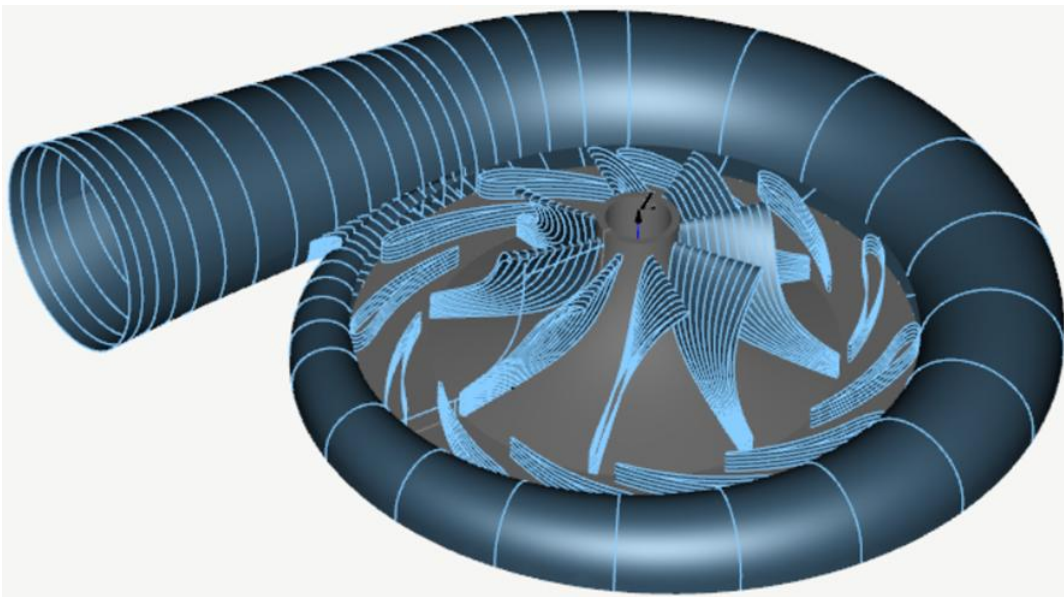


Figura 21: assieme turbina

Per poter realizzare un banco per prove preliminari e non in condizioni di esercizio, è stato quindi utilizzato l'assieme riportato in Figura 22, ma integrato opportunamente per ottenere i file utili per la stampa dei singoli componenti.

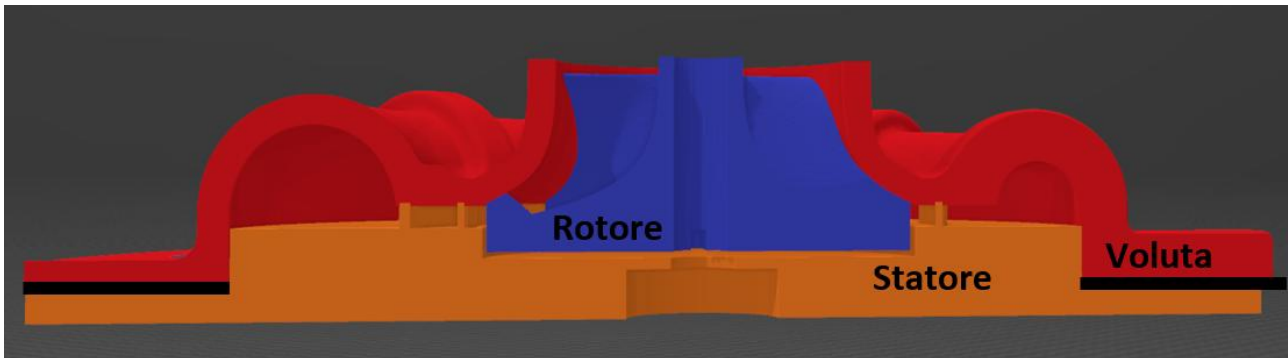


Figura 22: configurazione voluta, rotore e statore

Al fine di collegare una linea di mandata di aria compressa è stato realizzato un attacco filettato da $\frac{1}{2}$ " in ingresso alla voluta. Il software per la progettazione di turbomacchine dimensiona il volume del fluido e la superficie che lo contiene, è stato necessario quindi utilizzare alcune funzioni del software CAD per realizzare le diverse sezioni e la superficie su cui posizionare i fori per il serraggio. La chiocciola è stata quindi generata utilizzando la superficie delimitante il fluido. Con la stessa funzione è stato realizzato il condotto di ingresso alla chiocciola. Il volume fluido della girante è servito per generare la parte di voluta dove ruota il rotore stesso.

E' stata quindi estratta la superficie esterna, che ha permesso con una funzione di ispessimento di definire la geometria della parte centrale della voluta. In ultimo sono stati aggiunti degli elementi radiali che conferiscono una maggiore rigidità al componente e limitano le deformazioni in fase di *curing* post-stampa (Figura 23).

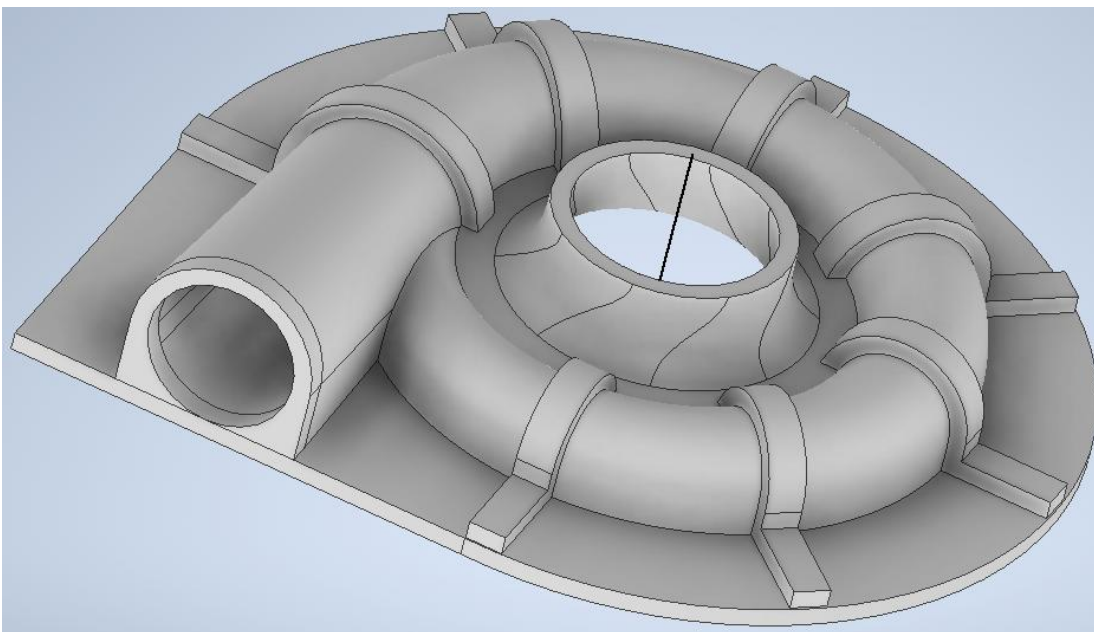


Figura 23: immagine della voluta

La turbina è stata stampata all'80% rispetto alle dimensioni reali, la fabbricazione per motivi di ingombro dei componenti è stata effettuata in due stampe, la prima con rotore e voluta insieme e la seconda con lo statore. L'altezza layer selezionata è di 0.1mm, i componenti sono stati orientati in modo da ridurre il più possibile la sezione per ogni strato cercando di utilizzare meno supporti possibili sulle superfici funzionali

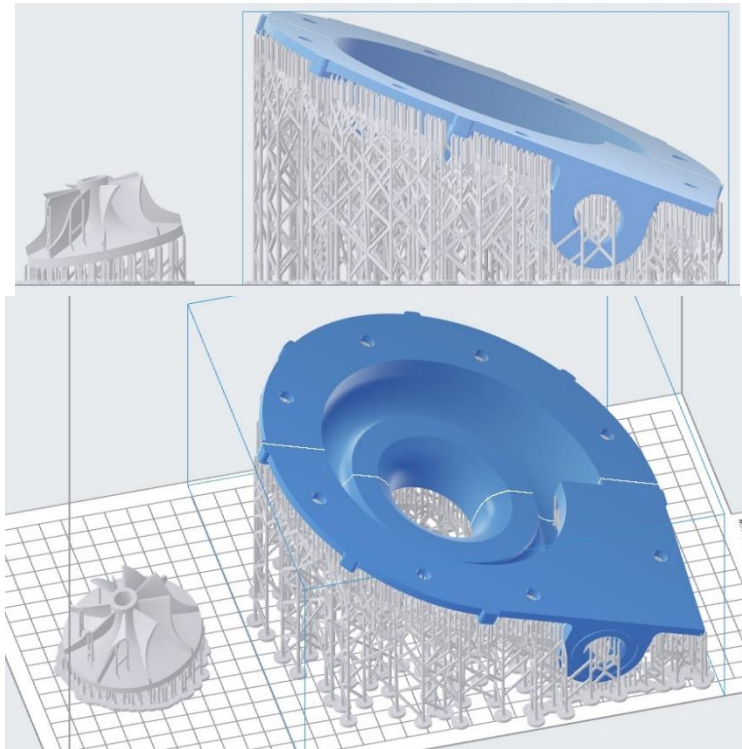


Figura 24: stampa della voluta e del rotore mediante processo SLA

Il progetto prevedeva la realizzazione di un banco prova nel quale si potessero effettuare test preliminari della turbina. La girante è messa in rotazione mediante una portata variabile di aria compressa, in condizioni non di esercizio.

E' stato quindi assemblata una turbina composta di statore, voluta e rotore, tutti realizzati mediante processi di stampa 3D. La turbina è collegata a un asse sul quale a sua volta è accoppiato un piccolo generatore elettrico. Sono state effettuate delle prove sia in presenza che in assenza di un carico. A tal fine è stata utilizzata una lampadina a incandescenza.

In Figura 25 è possibile vedere la turbina assemblata, statore, voluta e rotore, sul banco prova. Il generatore è collegato alla turbina con una asse di acciaio di 8 mm. Sono state effettuate prove senza carico collegato fino a velocità di rotazione di circa 9000 rpm.

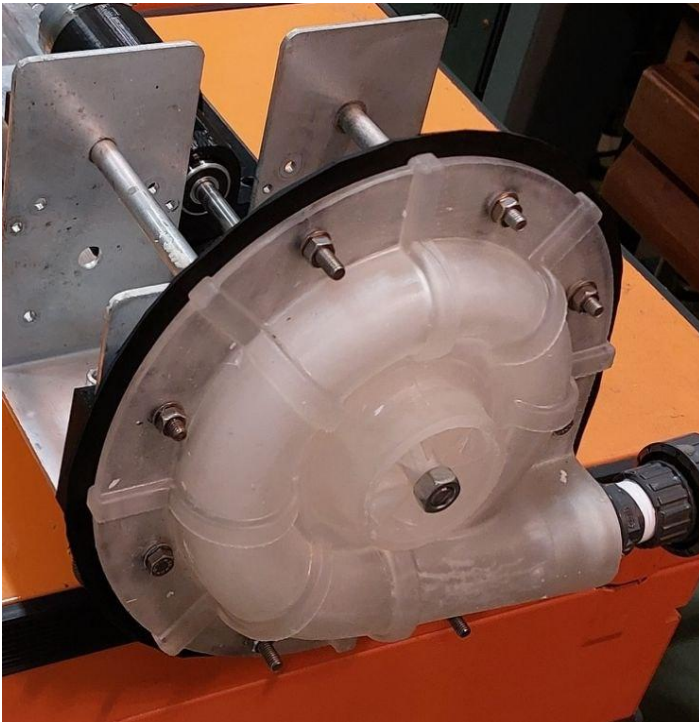


Figura 25: banco prova turbina

In Figura 26 è riportato uno schema del banco prova comprensivo dei sensori e del sistema di acquisizione dei dati.

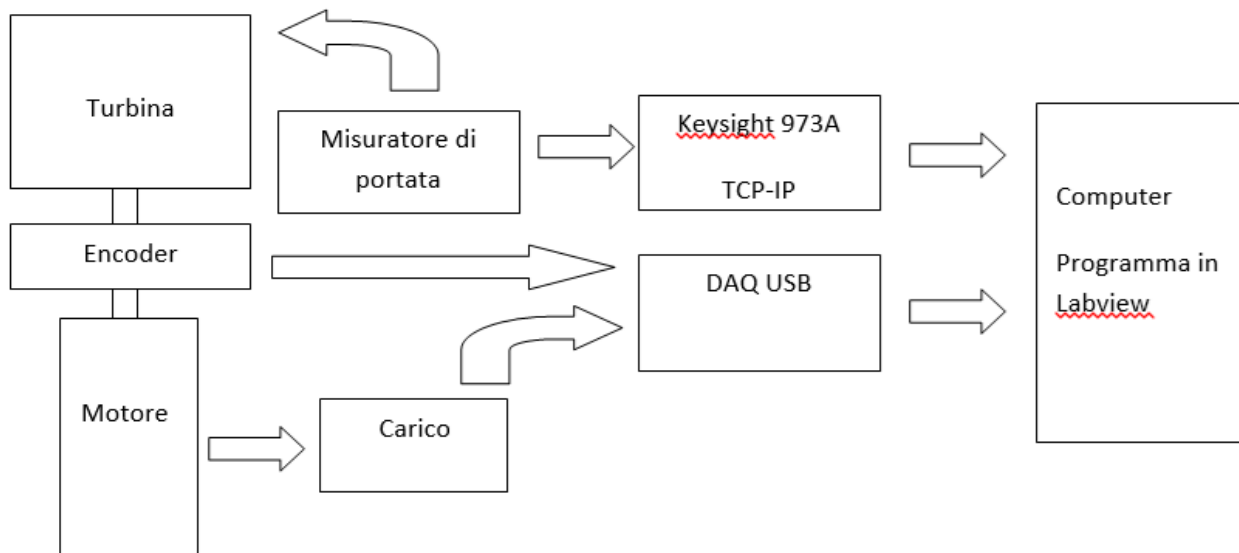


Figura 26: schema dell'impianto di prova

Il programma, sviluppato in LabView, gestisce l'acquisizione in continuo delle seguenti grandezze:

- Portata di aria compressa;

- Giri per Minuto – RPM;
- Tensione ai capi del motore – dinamo

L'acquisizione della tensione e della velocità di rotazione, in giri al minuto, vengono effettuati ogni secondo mentre la portata ogni 30 secondi. Vengono visualizzati i valori numerici e l'andamento nel tempo delle diverse grandezze è rappresentato con dei grafici. Al termine della misura i dati vengono salvati in un file di testo (*.txt) e possono quindi essere utilizzati per successive elaborazioni.

Parte integrante dell'impianto sono i seguenti sistemi di acquisizione dati:

- DAQ USB-6000 della National Instruments
- DAQ973A della Keysight Technologies

Il programma sviluppato da ENEA integra i 2 strumenti tramite 2 diversi protocolli USB-VISA ed TCP-IP su Ethernet.

LabVIEW è un ambiente di programmazione grafico (GUI) sviluppato da National Instruments per la realizzazione di applicazioni di misura, controllo e automazione industriale. È basato sul linguaggio visuale "G" e permette di creare interfacce grafiche intuitive per la gestione di sistemi hardware e software.

DAQ USB-6000: il dispositivo è un scheda multifunzione, con frequenza di acquisizione di 10 kSPS a 12 bit con 8 ingressi e 4 canali digitali I/O. Vengono utilizzati il canale digitale P0.0/PFI come counter per RPM e un canale analogico per la tensione (Figura 27).



Figura 27: scheda di acquisizione USB-6000 della National Instruments

La scheda si gestisce tramite il software Measurement Automation Explorer (MAX) e si programma con Labview tramite i driver DAQmx.

DAQ970A è un sistema di acquisizione dati mainframe con interfacce USB e LAN integrate. Il sistema di acquisizione dati con multimetro digitale (DMM) a 6,5 cifre integrato e funzione di

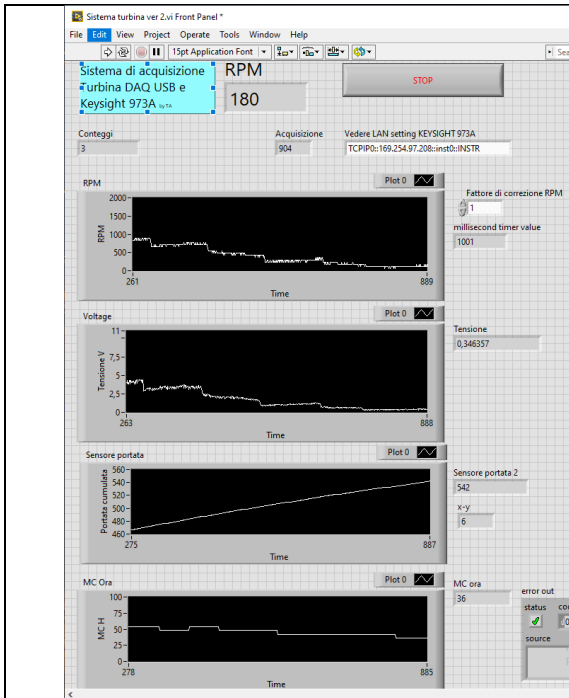
autocalibrazione che compensa le derive interne causate dalle variazioni di tempo e temperatura.



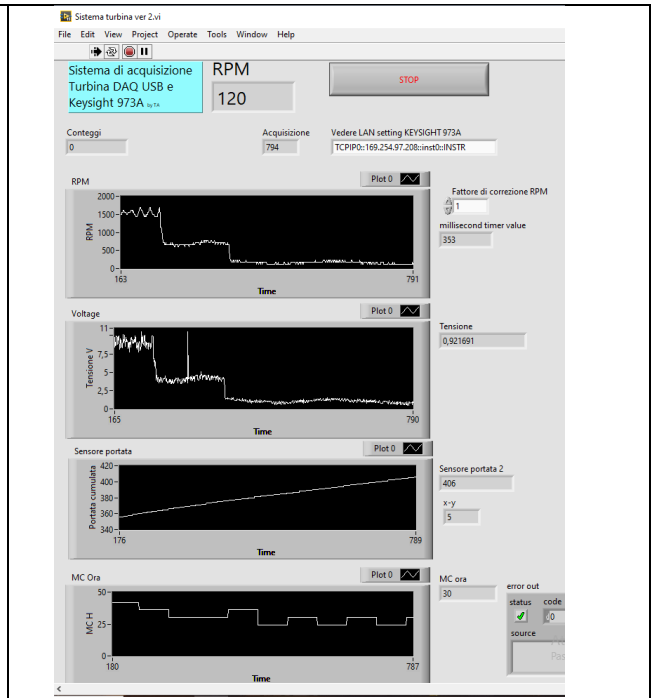
Lo strumento si configura con il software Keysight Connection Explorer e si programma tramite comandi SCPI. SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) è uno standard che definisce un linguaggio comune per il controllo di strumenti elettronici come gli strumenti di misura e gli alimentatori, comunemente utilizzati in ambienti di test automatici e di ingegneria. È una serie di comandi standardizzati che consentono a un computer di comunicare con un dispositivo e di impartire comandi per controllare le sue funzioni.

In Figura 28 è riportata la schermata del programma che è stato implementato in LabView per l'acquisizione dei dati del banco prova turbine. Nella schermata è possibile monitorare in tempo reale il numero di giri per minuto della girante, la portata di aria compressa in ingresso, la tensione generata ai capi del generatore. Alcuni allarmi avvertono nel caso di superamento di alcuni parametri, quali tensione e portata di gas. In ultimo, in Figura 29 è riportato il file testo generato dal software con i dati acquisiti durante la misura e lo stesso file aperto tramite un software di uso comune per eventuale rappresentazione grafica.

Il banco prova permette come già riportato in precedenza di fare delle prove in condizioni non di esercizio, ma significative per poter verificare la corretta rotazione della girante in condizioni diverse di portata. Essendo stati utilizzati materiali polimerici per la realizzazione della voluta e dello statore, le condizioni di prova sono limitate. Questo quindi rappresenta un primo passo verso la realizzazione di un banco prova che potrà consentire di effettuare prove in condizioni di portata, velocità di rotazione e tensioni generate maggiori e con attriti limitati.



Acquisizione senza carico



Acquisizione con carico

Figura 28: schermata del programma realizzato per l'acquisizione dei dati del banco prova turbine

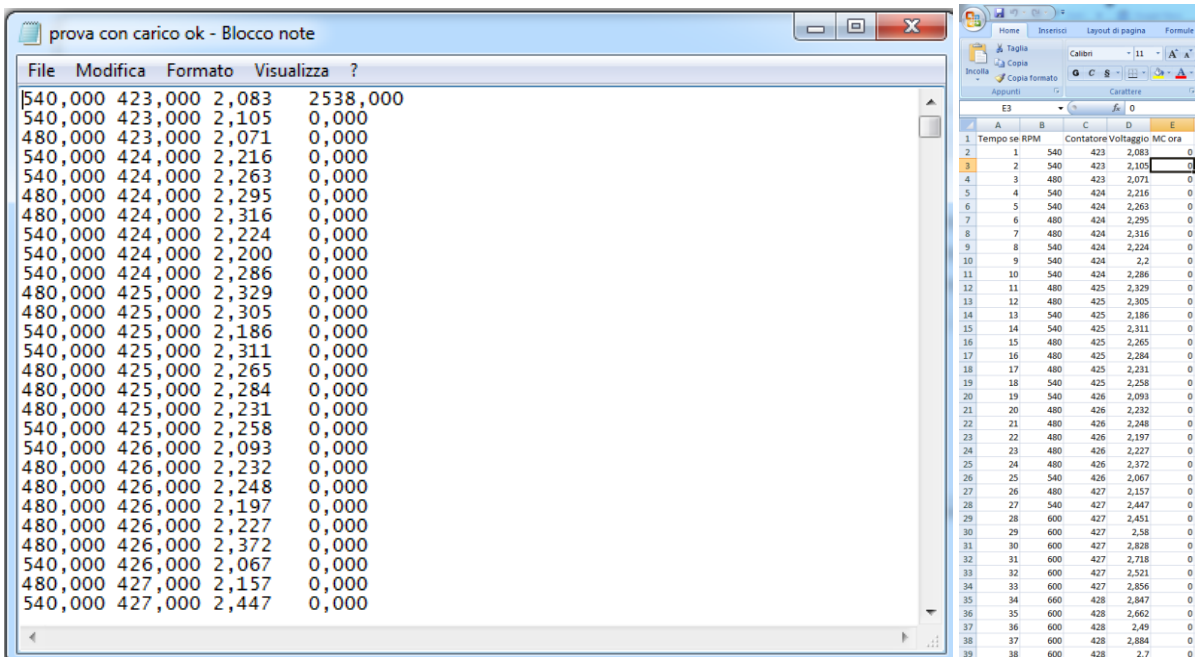


Figura 29: esempio del file di dati che è possibile acquisire mediante il banco prova.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non sono state richieste consulenze per l'attività sopra descritta.

9 Pubblicazioni scientifiche

Elenco delle pubblicazioni scientifiche eventualmente risultanti dall'attività svolta

Daniele Mirabile Gattia, Luciano Pilloni, Giuseppe Corallo, Alloy Design for AM: A Ferritic Alloy for Applications in Corrosive Alkaline Environment, Key Engineering Materials Vol. 964 (2023) pp 163-167, doi:10.4028/p-NQPrd8,ISSN: 1662-9795

Daniele Mirabile Gattia, Alessandra Palombi, Antonino Coglitore, Fabio De Pascalis, Michele Nacucchi, Fania Palano, Angelo Tati, Giuseppe Barbieri, Maria Richetta, Ugo De Angelis, Production of a Ti6Al4V Automobile's Lower Control Arm with EBM, Key Engineering Materials, Vol. 964 (2023) pp 41-46, doi:10.4028/p-eX3nPy, ISSN: 1662-9795

A. Tati, F. Palano, T. Marciànò, M. Nacucchi, F. De Pascalis, D. Marseglia, A. Coglitore, A. Palombi, G. Barbieri, D. Mirabile Gattia "Indagini non distruttive per la valutazione di campioni in lega di Titanio realizzati mediante additive manufacturing", Il Giornale delle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica 3/2023

10 Eventi di disseminazione

Lista degli eventi di disseminazione eventualmente scaturiti dall'attività svolta

Partecipazione alla trasmissione RAI "Geo&Geo", 8 febbraio 2023, Conduttore: Sagramola Sveva - Biggi Emanuele: Energia. I progetti di ricerca sui materiali innovativi per risparmiare energia. Ospiti Eleonora Petrolati (CSEA), Daniele Mirabile Gattia (ENEA Centro Ricerche Casaccia). Sono stati presentati i progetti svolti e attivi nell'ambito dell'Accordo di programma tra Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica e ENEA, Ricerca sul Sistema Energetico - RSE SpA e Consiglio Nazionale delle Ricerche.

[Geo 2022/23 - Puntata del 08/02/2023 - Video - RaiPlay](#)

https://it.linkedin.com/posts/ricerca-di-sistema_rds-geo-raitre-822023-activity-7029881970163617792-ol9A?trk=public_profile_like_view

https://it.linkedin.com/posts/eleonora-petrolati-06437a9_rds-geo-raitre-822023-activity-7030266053356101632-RPjD

Partecipazione alla conferenza THERMEC 2023 - 3-7 luglio 2023 Vienna, Austria

Daniele Mirabile Gattia, Carmine Scordella, Alessandra Palombi, Angelo Tati, Antonino Coglitore, Fabio, De Pascalis, Michele Nacucchi, Fania Palano, Giuseppe Barbieri, Maria Richetta, *Production of a Ti6Al4V centrifugal pump impeller by EBM*,

Daniele Mirabile Gattia, Alessandra Palombi, Antonino Coglitore, Fabio De Pascalis, Michele Nacucchi, Fania Palano, Angelo Tati, Giuseppe Barbieri, Maria Richetta, *Production of a Ti6Al4V automobile's lower control arm with EBM*, THERMEC 2023 – 3-7 luglio 2023 Vienna, Austria

Partecipazione alla conferenza NANOINNOVATION 9-13 Settembre 2024, Roma

Talk nella sessione "Advances in Additive Manufacturing of Metal Alloys"

Metal additive manufacturing for sustainable energy applications, Daniele Mirabile Gattia (ENEA)

Poster

Improved thermal conductivity in polymeric composites for Additive Manufacturing, D. Mirabile Gattia, G. Corallo, A. Di Schiavi, R. Mancini, A. Fava, C. Stifani

Partecipazione alla conferenza NANOINNOVATION 18-22 Settembre 2023, Roma

Talk nella sessione "Advances in additive manufacturing of metals and alloys"

Alloy design for Additive Manufacturing for applications in the energy sector: a case study, Daniele MIRABILE GATTIA, ENEA

Posters

55 *Polymeric composites with improved thermal conductivity for AM applications*, D. Mirabile Gattia, G. Corallo, A. Di Schiavi, C. Giuliani, R. Mancini (ENEA)

56 *Development of a ferritic alloy for AM of heat exchangers for corrosive environments*, D. Mirabile Gattia, L. Pilloni, G. Corallo

Partecipazione al MAKER FAIRE, 20-22 ottobre 2023, Roma

Presentazione attività del progetto presso lo stand della CSEA



Figura 30: partecipazione al MAKER FAIRE edizione ottobre 2023, con presentazione prototipi

Partecipazione a alla conferenza ZERO EMISSION MEDITERRANEAN 2024, 16-18 ottobre, presso la fiera di Roma. Realizzazione video con presentazione del progetto che è stato distribuito anche attraverso canali social (linkedin e youtube)

https://it.linkedin.com/posts/ricerca-di-sistema_materiali-progetto-activity-7252791366873743360-NN03

<https://www.youtube.com/watch?v=5tmV9xzjUGk>



RdS @ ZeroEmission Mediterranean: La ricerca sui materiali innovativi



RdS @ ZeroEmission Mediterranean: La ricerca sui materiali innovativi

Figura 31: partecipazione alla conferenza Zero Emission Mediterranean 2024

zero mission MEDITERRANEA 2024
Accordo di Programma 2022-2024 MASE-ENEA
Materiali di frontiera per usi energetici
16-18 ottobre 2024

WP1: Sviluppo di materiali e dispositivi termoelettrici per energy harvesting
La attività proposta si inserisce nel contesto di sviluppo che dimostra la ricerca sulla tematica dell'energia sostenibile e fa parte di un'attività di ricerca di frontiera che coinvolge il settore delle energie rinnovabili ed interdisciplinare per rendere competitiva la tecnologia termoelettrica e favorire lo sviluppo di materiali innovativi, stabili e performanti per applicazioni in campo energetico.

WP2: Sviluppo di materiali e dispositivi per il recupero piezoelettrico di energia da sorgenti di calore variabili
Il WP2 consiste principalmente in un'attività di sviluppo di materiali innovativi, sostenibili e a basso costo per il recupero di energia attraverso lo sviluppo di materiali e dispositivi piezoelettrici in grado di recuperare energia dall'ambiente esterno e di generare energia in loco anche in presenza di vibrazioni di energia meccanica anche in grado di sfruttare l'energia del ciclo per realizzare l'accumulo di energia. I dispositivi piezoelettrici saranno realizzati integrando componenti (circuiti elettronici ed energia elettrica) a base di Dispositivi di Conversione Energetica (DCE) e di accumulo di energia (batterie).

WP3: Stampa 3D di metalli e polimeri per dimostratori per scambio termico e produzione di energia
L'attività proposta consiste nello sviluppo di componenti piezoelettrici di tipo sottile e di tipo "bulk" (3D) realizzati in materiali innovativi e sostenibili e a basso costo per applicazioni in campo energetico. Il progetto prevede la stampa 3D di componenti per dimostratori di scambio termico e produzione di energia in grado di recuperare energia dall'ambiente esterno e di generare energia in loco anche in presenza di vibrazioni di energia meccanica anche in grado di sfruttare l'energia del ciclo per realizzare l'accumulo di energia. I dimostratori saranno realizzati in grado di recuperare energia dall'ambiente esterno e di generare energia in loco anche in presenza di vibrazioni di energia meccanica anche in grado di sfruttare l'energia del ciclo per realizzare l'accumulo di energia.

WP4: Additive manufacturing di materiali ceramici avanzati per incrementare l'efficienza di sistemi di produzione di energia
L'attività proposta consiste nello sviluppo di componenti piezoelettrici di tipo sottile e di tipo "bulk" (3D) realizzati in materiali innovativi e sostenibili e a basso costo per applicazioni in campo energetico. Il progetto prevede la stampa 3D di componenti per dimostratori di scambio termico e produzione di energia in grado di recuperare energia dall'ambiente esterno e di generare energia in loco anche in presenza di vibrazioni di energia meccanica anche in grado di sfruttare l'energia del ciclo per realizzare l'accumulo di energia.

WP5: Catalizzatori sostenibili, riguardo a materie prime e consumo di energia
La ricerca di materiali, la caratterizzazione catalitica e la sintesi di catalizzatori sostenibili stanno sempre di più venendo fuse di materiali e tecnologie sostenibili. In questo senso, la catalisi gioca un importante ruolo che giustifica gli sforzi profusi nello sviluppo di catalizzatori per l'industria chimica, i processi di produzione di energia e la produzione di materiali innovativi.

Figura 32: Poster con le attività del progetto presentato alla conferenza Zero Emission Mediterranean 2024

Partecipazione alla fiera MAKER FAIRE 25-27 ottobre 2024

[Save the date! ENEA partecipa a Maker Faire 2024-Eventi ENEA - Eventi Enea](#)

Presentazione risultati del progetto 1.4

Talk "Stampa 3D di leghe metalliche e applicazioni nel settore energetico", il 25 ottobre presso lo stand organizzato da AgroCamera.



Figura 33: partecipazione alla fiera MAKER FAIRE 2024

E' stata organizzata presso il CR Casaccia dell'ENEA, il 31 marzo 2023, una visita tecnica in collaborazione con l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma (FOIR) intitolata "Materiali Avanzati e Manifattura Additiva". Nell'intervento: D. Mirabile Gattia "Stampa 3D come strumento per applicazioni speciali nel settore ingegneristico", sono stati presentati alcune delle attività e dei risultati del progetto in corso.

Partecipazione al congresso Nanoscience & Nanotechnologies 2023 (N&N 2023), tenutosi a Frascati presso la sede dell'INFN nel periodo 29 maggio - 1 giugno 2023. Presentato il lavoro: D. Mirabile Gattia, L. Pilloni, G. Corallo, *Innovative materials and additive technologies for the energy sector*.

Presentazione nell'ambito dello *Strategic foresight workshop "Key Enabling Technologies and Innovation Trends for Bettering the Competitiveness in Aerospace Industry"* organizzato ICAMCYL- 12-13 luglio 2023, nell'ambito del Progetto finanziato nell'ambito del programma H2020 - Grant Agreement n. 952463. E' stato presentato il seguente contributo: D. Mirabile Gattia "New alloy for Advanced Materials and its applications".

11 Riferimenti Bibliografici

[i] Bell, I., Wronski, J., Quoilin, S., & Lemort, V. (2014). Pure and Pseudo-pure Fluid Thermophysical Property Evaluation and the Open-Source Thermophysical Property Library CoolProp. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(6), 2498–2508.

[ii] www.coolprop.org