

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Gestionale

**Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Gestionale**

Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi del ciclo di fabbricazione e dei  
processi di finitura di componenti in  
Ti6Al4V ottenuti tramite *Electron Beam  
Melting***



**Relatori**

Prof. Paolo Claudio Priarone  
Prof.ssa Eleonora Atzeni  
Prof. Alessandro Salmi

**Candidato**

Virginia Lo Schiavo

Aprile 2019

## Sommario

Indice delle Figure	2
Indice delle Tabelle	7
Indice delle Equazioni	9
1. Introduzione	10
2. La Fabbricazione Additiva	11
2.1 Pre-processing	11
2.1.1 Il formato STL	12
2.1.2 Lo Slicing	13
2.1.3 I supporti	14
2.2 Applicazioni della Fabbricazione Additiva	18
2.3 Vantaggi della Fabbricazione Additiva	19
2.3.1 Motivazioni economiche	20
2.3.2 Motivazioni ambientali	22
2.4 Limiti della Fabbricazione Additiva	27
2.5 Electron Beam Melting (EBM)	28
3. Processi di finitura per parti realizzate con Fabbricazione Additiva	32
3.1 Le finiture additive	32
3.1.1 Spray coating	33
3.1.2 Brush Coating	34
3.1.3 Altri processi additivi	34
3.2 Le finiture sottrattive	35
3.2.1 Finiture chimiche	35
3.2.2 Flusso di lucidatura chimico-abrasivo	36
3.2.3 Finiture Termiche	38
3.2.4 Le finiture meccaniche	40
4. Caso studio	54

4.1	I campioni	54
4.2	Macchina a misure coordinate (CMM)	55
4.3	Caratterizzazione superficiale	63
4.3.1	Strumenti a contatto	63
4.3.2	Strumento ottico	69
4.4	Valutazione del consumo energetico	76
4.4.1	Metodologia	76
4.4.2	Risultati	98
5.	Conclusioni	102
6.	Bibliografia	104

## Indice delle Figure

Figura 1. Ciclo della Fabbricazione Additiva [2]	12
Figura 2. Triangolazione delle superfici esterne ed interne [2]	13
Figura 3. Da sinistra: (a) Modello CAD, (b) Slicing, (c) Risultato dall'AM, (d) Effetto staircase [11]	14
Figura 4. Disegno di un prototipo più supporto [2]	15
Figura 5. Parametri di processo e misure di performance della lavorazione EDM [14]	16
Figura 6. Schema delle principali tecniche di Fabbricazione Additiva suddivise per il tipo di materiale adoperato ed in base al tipo di processo [2]	18
Figura 7. Applicazioni attuali e future dell'Additive Manufacturing [1]	19
Figura 8. Rappresentazione dei costi (€/part) rispetto alla complessità geometrica del componente che si intende produrre [2]	21
Figura 9. Motivazione economica della Fabbricazione Additiva [2]	21
Figura 10. Schema dei principali flussi nella lavorazione convenzionale CM (a) e nel caso di Fabbricazione additiva seguita da processo di finitura (b) [25]	23
Figura 11. Piani iso-energetici (a) e piani relativi al consumo di <b>CO2</b> per l'analisi secondo l'approccio cradle-to-gate + end of life di componenti in Ti-6Al-4V e in acciaio inossidabile [25]	24
Figura 12. Piani iso-energetici per l'analisi dalla culla alla tomba di componenti in Ti-6Al-4V e in acciaio inossidabile, in funzione del parametro k [25]	26
Figura 13. Direzione di costruzione dei tre campioni soggetti a fatica. La freccia bianca indica la direzione della sollecitazione impiegata [44]	30
Figura 14. Curve di fatica dei tre campioni [44]	30
Figura 15. Schema della camera di costruzione [45]	31
Figura 16. Schema dell'impianto EBM [45]	31
Figura 17. Dispositivo ad alta velocità utilizzato nello spray coating HVOF [48]	33
Figura 18. I due tipi di campioni sottoposti alla lucidatura [57]	36
Figura 19. Considerati entrambi gli orientamenti di costruzione, è riportata l'immagine al microscopio della superficie a seguito della sola realizzazione con la tecnica di AM, a seguito della lucidatura chimica statica e a seguito del flusso di lucidatura chimico [57]	37
Figura 20. Andamento dell'Ra e dell'Rz rispetto al tempo impiegato dalle tre tecniche di lucidatura per i due orientamenti di costruzione (a,b) 15° e (c,d) 135° [57]	38
Figura 21. Fiamma ossidante [65]	39

Figura 22. Fiamma riducente [65]	39
Figura 23. Strumento Bunsen con descrizione dei suoi componenti [65]	40
Figura 24. Andamento della rugosità superficiale durante il processo AFM [68]	42
Figura 25. Profilo superficiale del pezzo prima e dopo i due cicli del processo AFM [68]	43
Figura 26. Tipi diversi di buratura rispetto al fissaggio del pezzo [70]	43
Figura 27. Analisi del cambiamento dimensionale dopo drag finishing e dopo finitura centrifuga: riduzione del raggio esterno del pezzo variando i parametri operativi [71]	44
Figura 28. Soluzione di acqua, sapone con abrasivo polvere di corindone	45
Figura 29. Buratto magnetico	46
Figura 30. Vibratore industriale	47
Figura 31. Caratteristiche superficiali dei componenti in Inconel 625 ottenuti con la tecnica di Fabbricazione Additiva DMLS [87]	51
Figura 32. a. Superficie del campione realizzato con DMLS. b. Superficie del campione dopo 30 minuti dell'UCAF [87]	52
Figura 33. Andamento dell'Ra durante il processo [87]	53
Figura 34. Collocazione dei campioni sulla tavola di costruzione	54
Figura 35. Macchina a misura coordinate (CMM)	55
Figura 36. Sfera di riferimento per la calibrazione del tastatore	57
Figura 37. Tastatore della macchina CMM e campione 10	57
Figura 38. Denominazione delle facce e delle circonferenze da cui vengono ricavate le misure dalla	58
Figura 39. Confronto tra le misure medie pre e post finitura dei campioni 01, 05 e 09 ottenute con la macchina CMM	60
Figura 40. Confronto tra le misure medie pre e post finitura dei campioni 03, 07 e 10 ottenute con la macchina CMM	60
Figura 41. MEDIA degli scostamenti (val. reale - val. nominale) delle misure realizzate in più ripetizioni per ciascun campione; è inoltre riportato l'intervallo di errore rispetto al valore medio, tra il valore massimo e il valore minimo misurato	61
Figura 42. MEDIA degli scostamenti (val. reale - val. nominale) delle misure realizzate in più ripetizioni per ciascun campione; è inoltre riportato l'intervallo di errore rispetto al valore medio, tra il valore massimo e il valore minimo misurato	62
Figura 43. Lato superiore dei campioni; si realizzano 5 misurazioni lungo la parte centrale (a)	64
Figura 44. Lato superiore dei campioni; si realizzano 3 misurazioni tra i due fori a destra nella figura (b)	64

Figura 45. Lato superiore dei campioni; si realizzano 3 misurazioni tra i due fori a sinistra nella figura (d)	64
Figura 46. Zona 1	66
Figura 47. Zona 2	66
Figura 48. Zona 3	66
Figura 49. Schema dello strumento ottico MarSurf CM [88]	70
Figura 50. La lente obiettivo si sposta verticalmente, riuscendo così ad acquisire immagini a diverse altezze [88]	70
Figura 51. Posizione di misura per il rugosimetro ottico	71
Figura 52. Mappa del campione 01 prima della finitura	73
Figura 53. Mappa del campione 01 al termine della finitura	73
Figura 54. Mappa del campione 05 prima della finitura	74
Figura 55. Mappa del campione 05 al termine della finitura	74
Figura 56. Mappa del campione 09 prima della finitura	75
Figura 57. Mappa del campione 09 al termine della finitura	75
Figura 58. Energia e flussi di materiali per componenti prodotti con Electron Beam Melting secondo l'approccio cradle-to-gate + end of life, trascurando la fase d'uso	76
Figura 59. Valori di energia specifica richiesta per la realizzazione dei vari processi di AM [1]	80
Figura 60. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di produzione EBM nella fase di generazione del vuoto	82
Figura 61. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di produzione EBM nella fase di costruzione, con suddivisione dell'andamento in quattro intervalli di tempo ( $t_1$ , $t_2$ , $t_3$ , $t_4$ )	83
Figura 62. Macchina per il processo di taglio Wire EDM	85
Figura 63. Processo di taglio Wire EDM	85
Figura 64. Scintilla del processo di taglio Wire EDM	86
Figura 65. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di taglio WEDM I Job, per le coppie di Campioni (1-3) cresciuti verticalmente, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo ( $t_1$ , $t_2$ , $t_3$ )	88
Figura 66. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di taglio WEDM I Job, per le coppie di Campioni (2-4) cresciuti verticalmente, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo ( $t_1$ , $t_2$ , $t_3$ )	88

Figura 67. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di taglio WEDM I Job, per le coppie di Campioni (5-6) cresciuti a 45°, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo (t1, t2, t3)	89
Figura 68. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di taglio WEDM I Job, per le coppie di Campioni (7-8) cresciuti a 45°, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo (t1, t2, t3)	89
Figura 69. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di taglio WEDM I Job, per la coppia di Campioni (9-10) cresciuti orizzontalmente, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo (t1, t2, t3)	90
Figura 70. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di taglio WEDM II Job, per la coppia di Campioni (1-2) cresciuti verticalmente, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo (t1, t2, t3)	91
Figura 71. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di taglio WEDM II Job, per la coppia di Campioni (3-4) cresciuti verticalmente, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo (t1, t2, t3)	91
Figura 72. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di taglio WEDM II Job, per la coppia di Campioni (5-6) cresciuti a 45°, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo (t1, t2, t3)	92
Figura 73. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di taglio WEDM II Job, per la coppia di Campioni (7-8) cresciuti a 45°, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo (t1, t2, t3)	92
Figura 74. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di taglio WEDM II Job, per la coppia di Campioni (9-10) cresciuti orizzontalmente, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo (t1, t2, t3)	93
Figura 75. Abrasivo ceramico utilizzato nei Test 1,2,3	94
Figura 76. Tipo di abrasivo utilizzato nel Test 5	95
Figura 77. Quadrante dal quale si stabilisce l'ampiezza di vibrazione, su un intervallo che va da 2 a 7	96
Figura 79. Domanda di energia primaria (MJ) relativa all'intero ciclo di realizzazione dei sei campioni costruiti tramite EBM; la suddivisione dei valori energetici è stata definita per campioni e sono stati considerati tutti e tre i possibili approcci eseguibili nella fase di produzione materia prima	99
Figura 80. Impatto energetico percentuale di ciascuna fase del ciclo di realizzazione dei sei componenti rispetto alla richiesta complessiva di energia primaria <b>EAM</b> , calcolata considerando l'approccio di produzione primaria	100

Figura 81. Impatto energetico percentuale di ciascuna fase del ciclo di realizzazione dei sei componenti rispetto alla richiesta complessiva di energia primaria **EAM**, calcolata considerando l'approccio recycled content \_\_\_\_\_ 100

Figura 82. Impatto energetico percentuale di ciascuna fase del ciclo di realizzazione dei sei componenti rispetto alla richiesta complessiva di energia primaria **EAM**, calcolata considerando l'approccio del substitution method \_\_\_\_\_ 101

## Indice delle Tabelle

Tabella 1. Modelli parametrici per la valutazione dell'impatto ambientale del processo Selective Laser Sintering (SLS) [1]	26
Tabella 2. Valori nominali in mm delle misure	59
Tabella 3. SD degli scostamenti (val. reale – val. nominale) delle misure realizzate in più ripetizioni per ciascun campione	61
Tabella 4. SD degli scostamenti (val. reale – val. nominale) delle misure realizzate in più ripetizioni per ciascun campione	62
Tabella 5. Misure di rugosità per il campione 01 prima e dopo la finitura	67
Tabella 6. Misure di rugosità per il campione 03 prima e dopo la finitura	67
Tabella 7. Misure di rugosità per il campione 05 prima e dopo la finitura	67
Tabella 8. Misure di rugosità per il campione 07 prima e dopo la finitura	68
Tabella 9. Misure di rugosità per il campione 09 prima e dopo la finitura	68
Tabella 10. Misure di rugosità per il campione 10 prima e dopo la finitura	68
Tabella 11. Misure di rugosità per il campione 01 prima e dopo la finitura	71
Tabella 12. Misure di rugosità per il campione 05 prima e dopo la finitura	71
Tabella 13. Misure di rugosità per il campione 09 prima e dopo la finitura	72
Tabella 14. Valori dell'energia incorporata dalla materia prima, tenendo conto dei benefici relativi al riciclaggio che possono verificarsi seguendo uno dei due possibili approcci riportati: - recycled content, - substitution method	77
Tabella 15. Valori relativi al processo di atomizzazione in termini di consumo energetico, massa finale e del materiale scartato; valori relativi al processo di produzione materia prima in termini di massa finale.	79
Tabella 16. Valori relativi al processo di produzione EBM in termini di consumo energetico, MJ/kg olioequivalenti, massa finale e del materiale scartato, in kg.	81
Tabella 17. Valori Energetici in (Wh) per la fase di costruzione vera e propria del processo EBM suddivisi in intervalli temporali	83
Tabella 18. Valori relativi al processo di taglio WEDM in termini di massa finale e del materiale scartato	84
Tabella 19. Valori energetici espressi in MJ elettrici relativi al processo di taglio WEDM	84
Tabella 20. Consumo energetico espresso in termini di energia primaria, MJ/kg olioequivalenti, per ciascun campione	84

Tabella 21. I Job: valori energetici in (Wh) consumati in ciascun intervallo di tempo in cui è stato suddiviso il processo di taglio WEDM, per ciascuna coppia di campioni _____	90
Tabella 22. II Job: valori energetici in (Wh) consumati in ciascun intervallo di tempo in cui è stato suddiviso il processo di taglio WEDM, per ciascuna coppia di campioni _____	93
Tabella 23. Misure in kg delle masse degli scarti mA _____	96
Tabella 24. Valori energetici del processo di finitura per ciascun campione _____	98
Tabella 25. Tabella riepilogativa dei valori energetici in MJ/kg, di ciascuna fase del ciclo di realizzazione per ciascun campione _____	98
Tabella 26. Tabella riepilogativa delle masse di scarto e finali, in kg, di ciascuna fase del ciclo di realizzazione per ciascun campione _____	98

## Indice delle Equazioni

Equazione 1 [25]	25
Equazione 2 [89]	77
Equazione 3 [90]	78
Equazione 4 [90]	78
Equazione 5 [89]	79
Equazione 6	79
Equazione 7	79
Equazione 8	84
Equazione 9	84

## 1. Introduzione

Nel presente lavoro di tesi si è valutata la domanda di energia necessaria per la realizzazione di componenti in Ti-6Al-4V ottenuti tramite la tecnica di Fabbricazione Additiva *Electron Beam Melting* (EBM).

L'approccio di produzione è stato valutato considerando l'intero ciclo, dalla prima fase (produzione della materia prima) all'ultima (processo di finitura), valutando l'impatto di ciascuna su tutto il processo di realizzazione;

si è stimato poi, per ogni fase e per ogni componente, anche il valore finale di massa ottenuto e il valore di massa persa.

I dati che sono stati rielaborati, e su cui si basano le conclusioni di questo lavoro, sono stati raccolti direttamente in diverse attività di laboratorio:

- una volta realizzati i modelli CAD 3D dei campioni, questi sono stati prodotti tramite EBM;
- sono stati successivamente pesati, individuando anche gli scarti di polvere;
- tagliati tramite il processo *Wire Electrical Discharge Machining* (WEDM);
- pesati a seguito del taglio, determinando anche il valore di massa persa;
- sono state svolte attività con la macchina di misura a coordinate (CMM), prima e dopo il processo di finitura, così da ottenere i valori delle dimensioni principali dei campioni.
- sono state eseguite le prove di caratterizzazione superficiale, anche queste pre e post finitura, così da ottenere i valori relativi alla rugosità ed il profilo di ciascun campione;
- è stato realizzato il processo di finitura, che ha compreso tre processi iniziali di vibrofinitura, sabbatura e un processo finale di vibrofinitura, richiedendo quindi parecchie ore di lavoro

In questo scenario, è stata fornita un'ampia panoramica della tecnologia di produzione della Fabbricazione Additiva discutendo della sua evoluzione nel tempo, delle sue classificazioni, delle sue diverse applicazioni, dei suoi limiti e dei suoi vantaggi, economici, di progettazione e di sostenibilità ambientale, provvedendo opportuni confronti con tecnologie di produzione convenzionali.

Visti i limiti dei pezzi ottenuti con Fabbricazione Additiva, che presentano risultati inferiori rispetto ai requisiti, in termini di qualità e di rugosità delle superfici, necessari risultano i post trattamenti con processi di finitura, i quali nel seguente lavoro, vengono ampiamente trattati, classificati e analizzati, tenendo conto dei consumi energetici, dell'impatto ambientale e degli aspetti economici.

## 2. La Fabbricazione Additiva

Le tecniche di fabbricazione additiva, o *Additive Manufacturing* (AM), consentono la realizzazione di componenti caratterizzati da geometrie complesse, non ottenibili da tecniche di fabbricazione tradizionali, direttamente a partire dal modello matematico 3D, unendo di volta in volta, strato dopo strato, materiale, che può essere sotto forma di polvere, liquido o solido; permettono la realizzazione di qualsiasi geometria, dal momento che non fa uso di utensili, stampi e matrici.

Gli ambiti di applicazione della Fabbricazione Additiva (FA) sono molteplici, dall'elettronica all'aerospaziale, nell'ambito medico come nel caso degli impianti dentali e degli apparecchi acustici.

Questi appena citati sono tutti contesti industriali, ma non è da escludere l'applicazione dell'AM anche in ambiti come l'*hobby* e l'artigianato [1].

L'evoluzione della Fabbricazione Additiva può essere schematizzata attraverso la seguente *timeline* [2]:

- 1984 - Brevetto US No 4.575.330 per SLA (Stereolitografia);
- 1987 - La Prototipazione Rapida è una realtà commerciale;
- 1990 - *Rapid Casting*: anime per fonderia in sabbia prodotte con tecnologia additiva;
- 1995 - *Rapid Tooling*: inserti per stampi prodotti con tecnologia additiva;
- 2000 - *Additive Manufacturing*: componenti finali prodotti con tecnologia additiva;
- 2011 - 49000 macchine installate (in totale dal 1984);
- 2014 - 543 macchine per metallo (+55% in un anno).

### 2.1 Pre-processing

La produzione secondo l'*Additive Manufacturing* segue uno schema ben definito, riportato di seguito in Figura 1:

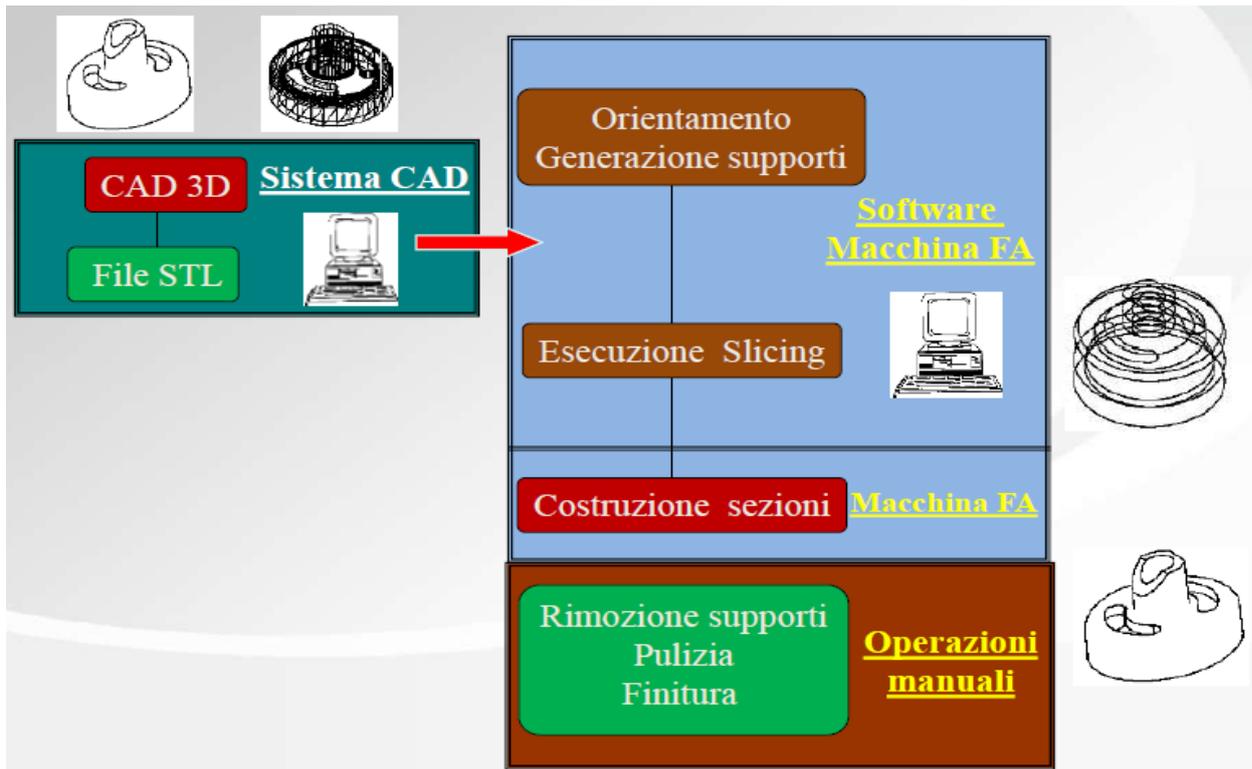


Figura 1. Ciclo della Fabbricazione Additiva [2]

Il primo *step* consiste nell'ideare l'oggetto da realizzare, seguito poi dalla fase con il modello 3D, generato tramite un *software*, *Computer-Aided Design* (CAD) di disegno tecnico assistito, che permette di stabilire la geometria dell'oggetto in un sistema di coordinate cartesiane (x,y,z) e di conseguenza la sua posizione esatta.

Durante la fase CAD è prevista l'esportazione del modello, nel formato *Standard Triangulation Language* (STL), descritto più nel dettaglio nel paragrafo successivo (cfr. Paragrafo 2.1.1).

Il secondo passo richiede un *software Computer-Aided Manufacturing* (CAM) per la FA, che realizzando l'operazione di *slicing*, permettere alla stampante 3D di poter leggere il modello realizzato in CAD (cfr. Paragrafo 2.1.2).

Quello che il *software* CAM fa, è trasformare il *file* STL in istruzioni per la stampante 3D, tramite un codice chiamato *G-code*.

È quindi molto importante che il *software* che esegue lo *slicing* sia in possesso delle informazioni relative alla stampante 3D adoperata e che sia compatibile con essa [3].

### 2.1.1 Il formato STL

L'adozione delle tecniche di fabbricazione additiva è subordinata alla disponibilità del modello matematico del componente realizzato su di un sistema CAD tridimensionale. Il formato standard universale per i modelli matematici nell'AM è il formato STL, file di tipo binario o ASCII sviluppato da *3D Systems* negli anni '80, capace di convertire il modello CAD di tipo solido (3D) in un modello tipo *shell*, in cui la superficie esterna è approssimata attraverso triangoli, le *mesh*, di diverse dimensioni (a seconda della risoluzione richiesta), in modo da seguire il profilo del modello. Il formato STL è molto semplice, è infatti facile da generare e da processare, ma allo stesso tempo presenta molti problemi. Tra questi, si annovera l'errore cordale (o *facetting*) dovuto all'approssimazione di una superficie curva con una superficie piana. Il solido così ottenuto, tramite sintassi del linguaggio ASCII, risulta un'approssimazione del modello originale, per cui l'infittimento della *mesh*, attraverso un maggior numero di triangoli di minori dimensioni,

permette di non perdere informazioni preziose del modello iniziale, discostandosi meno dalla geometria originale [2] [4].

Le superfici in formato STL devono essere perfettamente chiuse, ed i vertici dei triangoli adiacenti saldati tra loro, così da limitare il pericolo di *cracking*; questo problema consiste nel dare origine a delle strutture incongruenti, che pertanto, non avendo alcun significato da un punto di vista fisico, non possono essere costruite [5].

Limitare il numero di triangoli, stabilisce un buon compromesso tra qualità della superficie ottenuta e la quantità meno corposa dei dati da elaborare, riducendone il tempo computazionale; allo stesso tempo però, lavorare con un numero troppo ristretto di *mesh*, potrebbe danneggiare in maniera definitiva la qualità e annullare qualsiasi vantaggio proveniente dalle impostazioni dei parametri di *slicing* [6].

Così come evidenziato da Bordoni e Boschetto, 2012, poiché la possibilità che si generino errori durante la realizzazione di un *file* STL a partire da un *file* CAD è frequente, è ritenuta necessaria una fase di pre-trattamento per facilitare e rendere corretta la triangolazione, così da poter poi passare alla fase di *slicing* (cfr. Paragrafo 2.1.2) [4].

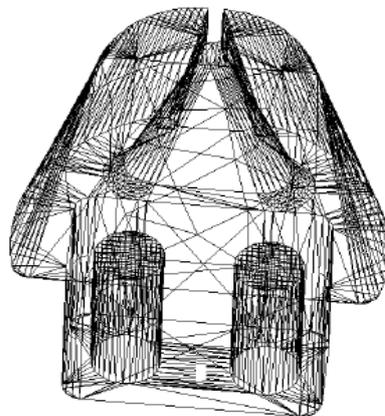


Figura 2. Triangolazione delle superfici esterne ed interne [2]

Oggi, grazie anche all'utilizzo di numerosi *software* correttivi, il formato STL è comunque considerato il formato più affidabile e diffuso nell'ambito della FA [2]; negli ultimi tempi però, l'*American Society for Testing and Materials* (ASTM), ha introdotto il formato AMF (*Additive Manufacturing File Format*), che potrebbe sostituire il formato STL. L'AMF permette di gestire più parametri, quali la densità, la porosità, il colore ed il materiale, presentando anche una maggiore efficienza di ingombro; l'AMF compresso avrà infatti un peso minore del 50% rispetto all'STL compresso. Con questo nuovo formato, il problema relativo all'approssimazione delle superfici curve con superfici piane, viene in parte risolto; le *mesh* triangolari ed i loro lati vengono infatti curvati, così da diminuirne la quantità necessaria per rappresentare una curvatura. Sarà possibile convertire i *file* originali STL nel nuovo formato AMF senza avere perdite di dati, e viceversa, i *file* AMF potranno essere tradotti in linguaggio STL, perdendo però i nuovi parametri presenti nel nuovo formato [7] [8].

### 2.1.2 Lo Slicing

Si definisce *slicing* la sezione del modello 3D in formato STL tramite piani ortogonali all'asse di costruzione (convenzionalmente coincidente con l'asse Z); i vari strati ottenuti, i cosiddetti *layers*, vengono virtualmente sovrapposti tra loro durante la stampa, riuscendo così a ricostruire la geometria desiderata.

Durante questo passaggio si interviene sull'altezza del *layer*, così da modificare lo spessore delle *cross sections* e definire così la precisione e la finitura del componente che dev'essere realizzato; altezze di *layer* troppo elevate, infatti, tendono a modificare notevolmente l'aspetto dei dettagli. Il limite principale della fase di *slicing* è l'effetto *staircase*: le sezioni sovrapposte, in base al parametro d'altezza stabilito, definiscono delle superfici a scalini, generando problemi in termini di qualità superficiale [9]; questi impattano soprattutto sui costi e sui tempi di post-trattamento, necessari per ottenere le caratteristiche estetiche e funzionali desiderate [10].

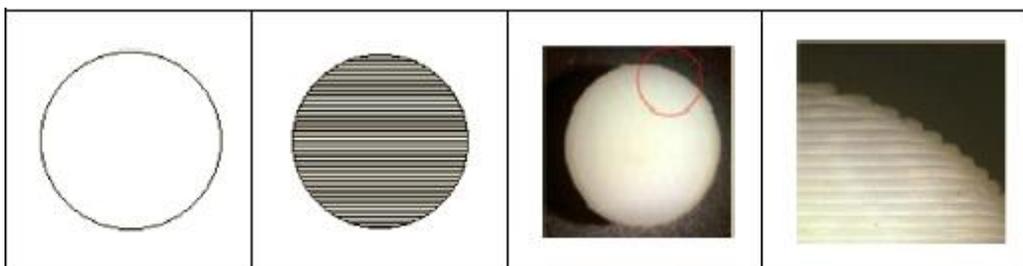


Figura 3. Da sinistra: (a) Modello CAD, (b) Slicing, (c) Risultato dall'AM, (d) Effetto staircase [11]

Xu et al. hanno realizzato una ricerca presso la *National University* di Singapore, in cui sono state messe a confronto quattro tecniche di Fabbricazione Additiva differenti per la realizzazione di una stessa geometria, fabbricata nei tre orientamenti principali. Focalizzando la loro attenzione su alcune proprietà, è stato possibile osservare quanto l'orientamento possa influenzare la bontà dei risultati ed i costi, nonché i tempi, di costruzione. In particolare, sono stati considerati: l'effetto *staircase*, la necessità di supporti esterni che si tende a minimizzare, e le distorsioni [12].

L'orientamento viene scelto in base a quelle che sono le esigenze di progetto e alle funzioni del pezzo, anche se spesso, quando si raggiunge un certo grado di complessità, risulta essere difficile individuare l'orientamento più appropriato [12].

### 2.1.3 I supporti

Ruolo rilevante nelle tecniche di Fabbricazione additiva, è occupato dai supporti. Essi hanno il compito di fissare il modello in costruzione all'area di lavoro (pur permettendone la successiva rimozione), proteggere le pareti laterali da azioni che ne possono compromettere la costruzione, e supportare le parti sporgenti. I supporti possono essere dello stesso materiale del componente da realizzare o di materiale differente, di conseguenza possono essere rimossi meccanicamente o dissolti, in operazioni successive alla produzione e precedenti alla fase di utilizzo del pezzo [2].

La presenza dei supporti, d'altro canto, incrementa il tempo necessario per il processo di produzione, prevedendo un maggiore utilizzo di materiale e rendendo necessaria e difficoltosa la rimozione delle loro tracce sulla superficie del pezzo.

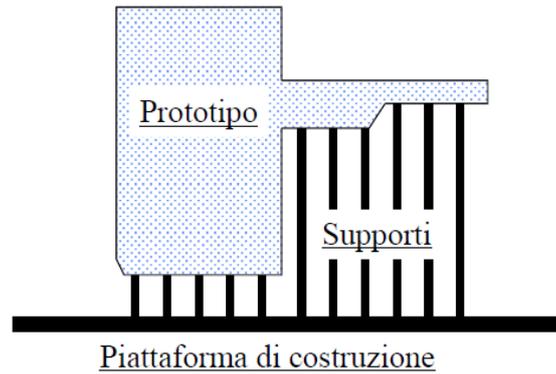


Figura 4. Disegno di un prototipo più supporto [2]

### 2.1.3.1 Rimozione meccanica: Elettro erosione a filo (EDM)

La rimozione meccanica è spesso realizzata tramite l'elettroerosione a filo nel caso di componenti metallici, anche nota come *Electro Discharge Machining* (EDM); come riportato da Ho e Newman, 2003, si tratta di una tecnica che risale agli anni '40, ma le sue origini risalgono al 1770, quando, per opera di Joseph Priestly, fu scoperto l'effetto erosivo di scariche elettriche o scintille. Tale processo permette di tagliare con grande precisione pezzi dalla forma complessa, dunque indipendentemente dalla loro forma e dalla loro durezza, come matrici, stampi e punzoni. È spesso impiegato in processi di finitura di componenti chirurgici, dell'industria aerospaziale e di quella automobilistica [13].

L'EDM avviene per mezzo di energia termo-elettrica che si figura con una scintilla, realizzata tra il pezzo in lavorazione ed un elettrodo, il quale è immerso in un fluido dielettrico [13]; al fine di avere una lavorazione precisa, la scelta del fluido è molto importante [14].

Durante il processo di taglio, non si verifica mai il contatto tra l'elettrodo ed il pezzo in lavorazione, così da evitare sollecitazioni meccaniche e vibrazioni. Per tale motivo, l'EDM consente la lavorazione di pezzi complessi [13].

Tramite lo studio di Ramasawmy e Blunt, 2004, viene spiegato come la rimozione del metallo avviene tramite l'azione di scariche elettriche che si realizzano tra l'utensile (il catodo) ed il pezzo (l'anodo). Si tratta quindi di un processo termico piuttosto violento, in quanto in pochissimi secondi un certo volume di metallo viene eroso da migliaia di scariche elettriche, caratterizzate da una frequenza compresa tra i 103-106 Hz; ognuna di esse, definisce un piccolissimo cratere con l'intento di riprodurre la forma (in negativo) dell'utensile nel pezzo, la quantità di materiale appartenente al componente che viene rimossa durante la scarica, è circa pari a  $10^{-6}$ – $10^{-4}$  mm<sup>3</sup>, con un tasso di rimozione, dipendente dal tipo di applicazione, compreso tra i 2 e i 400 mm<sup>3</sup>/min. Il fluido dielettrico serve per eliminare gli sfridi e limitare la scarica elettrica [15].

In Figura 5 è possibile visualizzare i parametri di processo che caratterizzano questa lavorazione e le misure di *performance* che vengono rilevate [14].

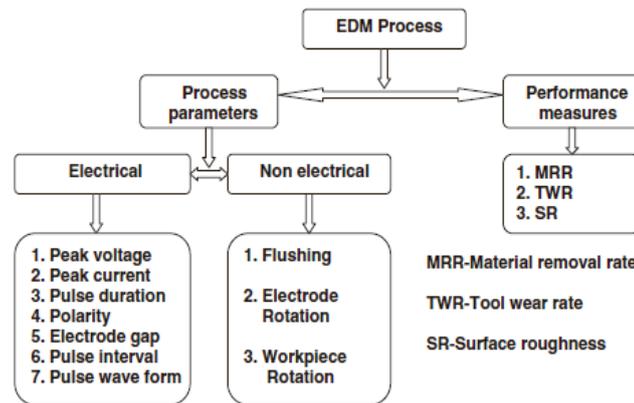


Figura 5. Parametri di processo e misure di performance della lavorazione EDM [14]

Garg et al., 2010, riportano l'esistenza di diversi tipi di processo EDM, quali: *Sinking EDM*, *Wire EDM*, *Micro-EDM*, *Powder-mixed EDM*, *Dry EDM*.

Nella lavorazione di *Sinking EDM*, il componente può essere realizzato tramite la replicazione di un utensile elettrodo, o attraverso il movimento tridimensionale di un elettrodo, come avviene durante la fresatura, o effettuando una combinazione tra i due metodi. Il materiale dell'elettrodo utilizzato è generalmente rame o grafite [14].

Il *Wire EDM (WEDM)* taglia il pezzo tramite delle scintille che si realizzano tra il pezzo in lavorazione ed il filo, separati da un fluido dielettrico continuamente alimentato nella zona di lavorazione. Il filo adoperato in questo processo di EDM, è un filo piuttosto sottile in rame, dal diametro pari a 0,1-0,3 mm, è montato su una macchina a controllo numerico (CNC), esattamente come il pezzo e l'elettrodo, ed è alimentato di continuo da un microprocessore, così da permettere la lavorazione di forme complesse con estrema precisione e mantenere costante la distanza tra filo e pezzo [14].

Affinché si riesca ad ottenere precisione dimensionale e qualità superficiale desiderate, il filo, durante il processo, effettua passaggi ripetuti lungo il pezzo.

Il WEDM è applicato in molteplici settori, come quello automobilistico, medico ed elettronico [16].

Il processo *Micro-EDM* viene utilizzato non solo per la lavorazione di micro fori e micro aste, ma anche per micro cavità 3D piuttosto complesse. A sua volta questo processo si divide in: *micro-wire EDM*, *die-sinking micro-EDM*, *micro-EDM drilling*, and *micro-EDM milling* [14].

Il *Powder-mixed EDM* è molto diverso dal processo base dell'Elettroerosione a filo EDM;

La polvere di un certo materiale è mescolata nel fluido dielettrico, depositandosi in gruppi nella zona sotto la scintilla, così da diminuire la distanza tra gli elettrodi e aiutando la formazione della prima esplosione.

È così possibile il verificarsi di una scintilla più rapida e di conseguenza un'erosione piuttosto veloce della superficie del pezzo [14].

Nella lavorazione di *Dry EDM*, l'utensile elettrodo è rappresentato da un tubo dalla parete sottile, attraverso il quale è fornito gas o aria ad alta pressione [14].

Questo tipo di EDM viene utilizzato come alternativa più *eco-friendly*, in quanto il non utilizzo del fluido dielettrico, che tende a generare vapori durante la lavorazione, permette di ridurre l'inquinamento, ed i costi di gestione e smaltimento dei rifiuti. L'EDM si è spesso presentato come un sostituto della fresatura degli acciai, ma negli ultimi anni si incrementa il suo utilizzo anche per la lavorazione delle ceramiche; in particolare, l'EDM per la ceramica ha permesso di

oltrepassare il limite relativo alla resistenza elettrica del materiale che era stata stabilita per un valore soglia di circa 100 o 300  $\Omega/\text{cm}$  [13].

Mohri et al., 1996, durante i loro studi hanno introdotto l'utilizzo di un elettrodo che rende più semplice la creazione della scintilla nel caso di ceramiche isolanti [17].

Continue sono le ricerche condotte su questo processo, affinché rimanga il più competitivo nella lavorazione di pezzi caratterizzati da geometrie complesse e materiali non facili da trattare [13]. Purtroppo, è doveroso sottolineare come anche il processo EDM presenti diversi limiti, pur essendosi dimostrata una tecnologia molto valida nella lavorazione di forme complesse e realizzate in materiali molto duri; le superfici finali presentano proprietà scadenti, come grandi valori di rugosità superficiale, la presenza di tensioni residue, di cricche e di microfessure. Nello studio condotto da Ramasawmy e Blunt, sono stati osservati i risultati del processo EDM sulla tessitura superficiale, considerando per l'analisi i principali parametri [15].

La corrente che pulsa lungo il pezzo in lavorazione, dimostra di essere l'elemento che più influenza le caratteristiche superficiali, mentre la relazione tra l'impulso di corrente e la sua durata ha un effetto non rilevante sui valori di rugosità.

Infatti, un esempio emerge nello studio, dal confronto tra due esperimenti che vengono condotti allo stesso picco massimo di corrente (27,85 A) ma, uno per una durata di 500  $\mu\text{s}$  e l'altro per un tempo di 750  $\mu\text{s}$ ; risulta che i valori della maggior parte dei parametri di superficie dell'esperimento dalla durata più breve, sono anche maggiori rispetto a quelli definiti per l'esperimento più lungo.

La spiegazione risiede nel fatto che, stabilita una certa durata dell'impulso, se l'intensità della corrente è aumentata o comunque alta, anche l'energia termica indotta nel pezzo, a seguito della scintilla, aumenta, per cui, più è alto il contenuto energetico della scintilla, più il processo può essere considerato violento, definendo una superficie più ruvida [15].

Negli anni le esigenze delle industrie di ridurre i costi, i cicli di produzione ed ovviare ai limiti dell'EDM, hanno portato alla modifica continua del processo; alcuni studi ad esempio, hanno realizzato la combinazione degli aspetti migliori di due processi diversi, cercando di ottenere una tessitura superficiale migliore: Masuzawa et al. hanno realizzato la combinazione tra il processo EDM e l'*Electro Chemical Machining* (ECM) [18]; altri hanno provato ad eseguire la lavorazione ad ultrasuoni a seguito dell'elettro erosione a filo; altri ancora hanno cercato di sfruttare impulsi di campo magnetico insieme all'EDM [15].

## 2.2 Applicazioni della Fabbricazione Additiva

La Fabbricazione Additiva in alternativa, viene anche adoperata nei processi fusari, e le sue applicazioni in questo ambito sono note con il termine *Rapid Casting*. I campi d'impiego principali sono [19]:

1. La pressocolata: si tratta di un'applicazione che prevede la fabbricazione degli stampi metallici per preserie. La tecnica di FA impiegata è la *Selective Laser Melting* (SLM) con l'impiego di miscele metalliche;
2. La fabbricazione degli stampi per l'iniezione della cera: le tecniche di FA che meglio si prestano per la fabbricazione di attrezzature per l'iniezione della cera sono la Stereolitografia (SLA), la *Selective Laser Melting* (SLM), la *Fused Deposition Modelling* (FDM).
3. La fabbricazione di modelli a perdere: le tecniche di FA che meglio si prestano per la fabbricazione dei *pattern* sacrificali sono: la stereolitografia (*SLA-Quick Cast*), la *Selective Laser Sintering* (SLS), la *Drop On Demand* (DOD);

La *quick-cast* è una strategia di costruzione introdotta da *3D Systems*, che permette di ottenere una struttura SLA non massiva, scaricata dell'80-85%, la resina viene drenata dall'interno del pezzo a seguito della costruzione, così da bruciare meno materiale nella fase di evacuazione del guscio [2] [19].

Con il passare degli anni l'AM diventa sempre più popolare, dando la possibilità anche di produrre componenti personalizzati in diversi tipi di materiali, organico, ceramico, polimerico e metallico, con costi e tempi competitivi; in particolare, crescente è l'interesse per le parti realizzate in metallo.

Di seguito lo schema per la classificazione delle tecniche di Fabbricazione Additiva sulla base del tipo di materiale adoperato:

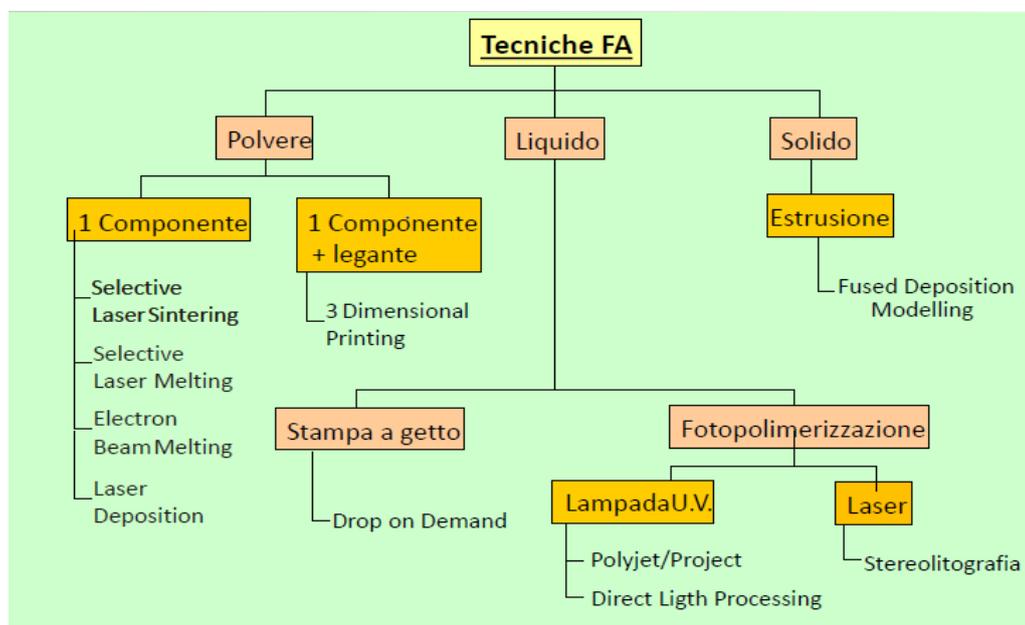


Figura 6. Schema delle principali tecniche di Fabbricazione Additiva suddivise per il tipo di materiale adoperato ed in base al tipo di processo [2]

In generale, i processi più utilizzati sono quelli basati su polvere; questo comporta uno sviluppo continuo della catena di fornitura, generando un aumento del numero dei fornitori, nuovi metodi di produzione della polvere e quindi, un aumento della competizione tra loro che li porta a definire prezzi più concorrenziali.

La consistenza del pezzo finale prodotto è fortemente legata alla qualità della materia prima, nel caso della polvere infatti, viene scelta analizzando in maniera accurata le sue caratteristiche come la forma e la dimensione delle particelle [1].

La fase di stampa può essere controllata grazie all'utilizzo di un apposito strumento, il *Client software*; è possibile quindi, mettere in pausa il processo, bloccarlo o effettuare modifiche in tempo reale, come ad esempio intervenire sulla velocità.

La maggior parte di questi *software* sono per specifici modelli di stampanti 3D, ma non sono del tutto assenti alcuni modelli di *Client software open source* [3].

La Fabbricazione Additiva è stata concepita nella metà degli anni '80 per ridurre i tempi per la realizzazione dei prototipi e per molti anni ha assunto il nome di Prototipazione Rapida.

La realizzazione dei prototipi è ancora oggi l'applicazione principale della fabbricazione additiva, ma negli ultimi anni sta subendo un rapido sviluppo come processo di produzioni di parti definitive.

Nella Figura 7 sono riportate attuali e future applicazioni di questa tecnologia [1]:

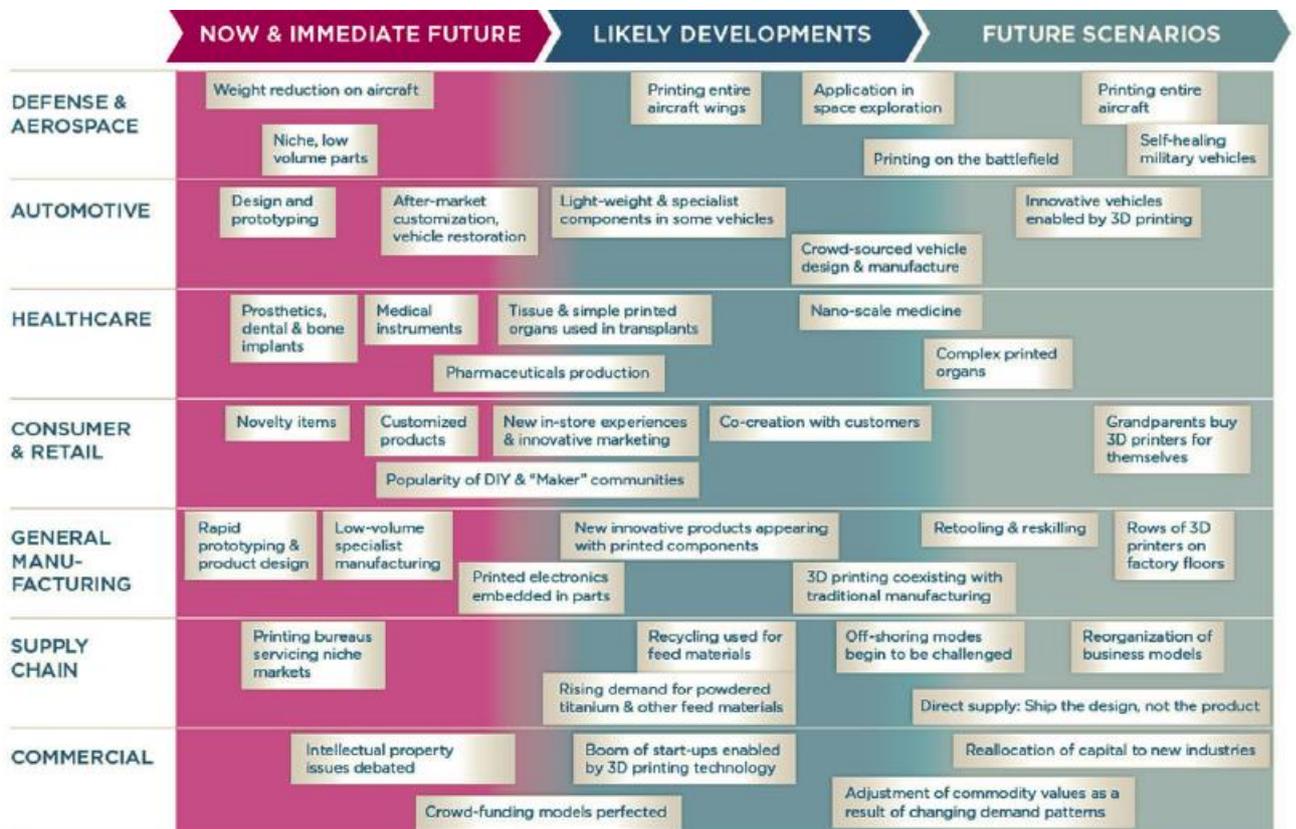


Figura 7. Applicazioni attuali e future dell'Additive Manufacturing [1]

Nel seguente progetto di tesi, viene condotta l'analisi su tutto il ciclo di vita di componenti in Ti-6Al-4V, prodotti con la tecnica di Fabbricazione Additiva *Electron Beam Melting* (EBM), trattata di seguito più nel dettaglio (cfr. Paragrafo 2.5)

### 2.3 Vantaggi della Fabbricazione Additiva

I vantaggi di questa tecnica sono molteplici, e possono essere suddivisi per prodotto e per processo; in termini di processo i vantaggi individuabili sono [2]:

- Utilizzo di una sola macchina che permette di ottenere un numero di forme illimitate;
- Assenza di attrezzature e di dispositivi di bloccaggio;
- Sottosquadri ammessi;
- Intervento minimo dell'operatore;
- Tempi e costi che dipendono solo dalle dimensioni e non dalla complessità geometrica del pezzo.

Per ciò che invece riguarda il prodotto, l'AM permette [2]:

- Libertà di progettazione, definendo un *design* ergonomico e personalizzabile, infatti attraverso la FA è possibile produrre componenti con complessità geometrica illimitata, che ammette forme contorte e svergolate, fori ciechi e filettature/viti con un elevato rapporto resistenza/peso;
- Di ridurre il peso e il numero di parti realizzate, è possibile produrre direttamente un assemblato come unico componente, integrando giunti e cerniere;
- Di ridurre il materiale di scarto durante la produzione.

Tutti questi vantaggi sono naturalmente legati tra loro; un minor numero di componenti da assemblare comporta diverse esigenze logistiche, necessità di adoperare un minor numero di utensili, meno errori di produzione e diminuzione del tempo di produzione e assemblaggio, risparmiando sui costi e sull'impatto ambientale. Un esempio piuttosto noto di componente leggero ottenuto con Fabbricazione Additiva è l'ugello del carburante implementato nel motore jet LEAP di GE Aviation 2016. Il pezzo risulta più leggero del 25% rispetto a ciò che è stato finora prodotto con tecnologie convenzionali, presenta infatti un *design* più semplice, un solo componente rispetto ai 18 di prima, portando ad una riduzione dei costi del 75% [1].

Queste riprogettazioni funzionali comportano dei vantaggi non solo in termini di costi ma anche in termini di ottimizzazione della geometria e delle funzionalità.

### 2.3.1 Motivazioni economiche

Un'altra evidenza importante in favore della Fabbricazione Additiva è rappresentata dal confronto fatto tra le tecniche di *Additive Manufacturing* e le tecniche di lavorazione tradizionali, rispetto ai costi espressi in funzione della complessità geometrica.

Appare chiaro dal grafico (Figura 8), che, più il pezzo è complesso, più la Fabbricazione Additiva conviene in termini economici; comportamento opposto nel caso del *Traditional Manufacturing*.

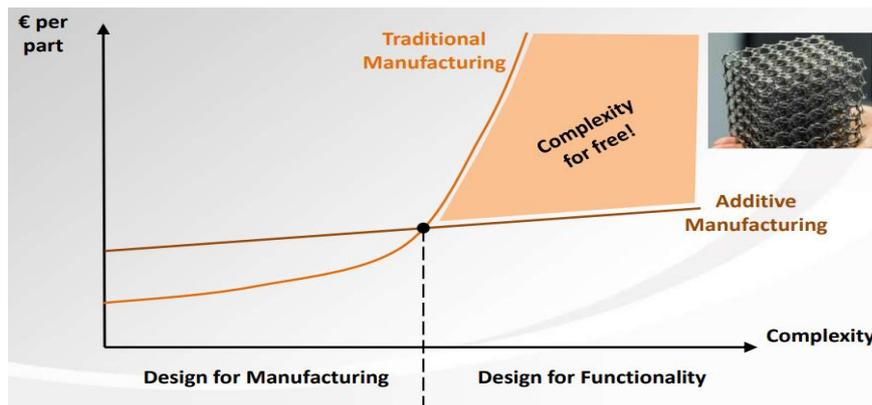


Figura 8. Rappresentazione dei costi (€/part) rispetto alla complessità geometrica del componente che si intende produrre [2]

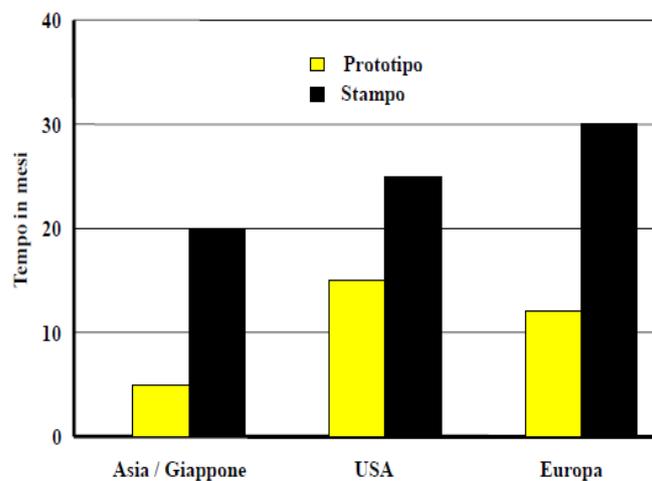


Figura 9. Motivazione economica della Fabbricazione Additiva [2]

La Figura 9 effettua il confronto tra il tempo in mesi impiegato per la realizzazione del prototipo con Fabbricazione Additiva e per la realizzazione dello stampo (situazione analizzata in più paesi), ed appare come la fabbricazione del prototipo necessiti di minor tempo.

È dimostrato che, adoperando le tecniche di AM, i tempi ed i costi di sviluppo prodotto, dalla fase di progettazione a quella di produzione, risultano ridotti, in quanto non sono necessari investimenti per la produzione delle attrezzature; l'AM consente la produzione di piccole serie di lotti a un costo medio relativamente basso [20].

Baumers et al., 2010, 2011, a seguito dell'analisi dei consumi energetici specifici (SEC) di una serie di processi di Fabbricazione Additiva, giungono infatti alla conclusione che, affinché si riesca ad aumentare l'efficienza dei processi AM e minimizzare il relativo consumo energetico, sia necessario aumentare il più possibile il volume totale soggetto alla costruzione [21] [22].

I processi di Fabbricazione Additiva sono impiegati anche per la rilavorazione di componenti danneggiati; Morrow et al., 2007, hanno individuato una richiesta energetica pari a 8 GJ per la rilavorazione di uno stampo, rispetto ai 16,5 GJ richiesti per la produzione ex novo, portando così ad una diminuzione del 50% in termini di energia necessaria [23].

Inoltre, sempre dalla letteratura, è emerso che, nei settori industriali in cui l'AM è maggiormente impiegata (aerospaziale, componenti medicali ed utensili), vi sarà un risparmio entro il 2025 pari a US \$593 miliardi [1].

D'altro canto, i vantaggi non riguardano solo il risparmio per le attrezzature, ma anche la possibilità di realizzare il componente in qualsiasi forma, e di iniziare la produzione subito dopo la progettazione. L'analisi dei costi dimostra come il contributo principale sul costo complessivo del pezzo nella Fabbricazione Additiva, sia imputabile al costo della macchina, il quale, è logico

pensare, diminuirà nel prossimo futuro, quando le tecniche di AM si diffonderanno ulteriormente, portando a volumi produttivi maggiori rispetto a quelli odierni.

### 2.3.2 Motivazioni ambientali

In aggiunta, risulta che le tecniche di Fabbricazione Additiva siano le migliori sia da un punto di vista economico e anche in termini di sostenibilità ambientale, permettendo [24]:

- un ridotto consumo delle Materie Prime;
- componenti alleggeriti ed ottimizzazione dell'efficienza del prodotto;
- investimenti e scorte ridotti;
- *supply chain* più efficiente, si lavora infatti secondo la logica *Pull*, in assenza di magazzini, e la produzione avviene al punto di consegna, così da rendere minori i *lead times*.

Riguardo ciò, è utile considerare il documento redatto da Priarone, Ingarao, 2017, che include un insieme di studi, condotti al fine di ricercare un processo manifatturiero più sostenibile.

Sono stati modellati per l'intero processo, *cradle-to-gate* + *end of life*, la domanda di energia primaria e le emissioni di CO<sub>2</sub>. Il risultato principale di questo lavoro di ricerca è quindi, la definizione di un criterio per la selezione dell'approccio manifatturiero più *eco-friendly*; in particolare si è considerata la produzione di componenti in Ti-6Al-4V [25].

Si è partiti dall'evidenza che i processi manifatturieri giocano un ruolo dominante nelle attività industriali e sono responsabili:

- per l'85% dell'utilizzo dell'energia elettrica globale;
- per più del 20% del totale delle emissioni di CO<sub>2</sub>;
- per più del 25%, dell'estrazione della risorsa primaria.

In accordo con le analisi realizzate dall'*International Energy Agency* (IEA) (2015), emerge come i processi manifatturieri, considerando solo il settore industriale, sono responsabili per il 98% delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Per questa ragione, la ricerca si sta focalizzando sullo studio di processi manifatturieri più sostenibili.

Dalle numerose osservazioni fatte, è emerso che l'impatto ambientale di un processo di produzione dipende strettamente anche dal tipo di materiale che viene adoperato [25].

Attualmente, possono essere adottati tre approcci di produzione di componenti metallici:

- Processo *mass conserving*;
- Processi sottrattivi;
- Processi additivi (nel caso specifico sono stati considerati il *Selective Laser Melting* e l'*Electron Beam Melting*).

È necessario precisare che, i tre approcci in questione, oltre ad utilizzare diverse macchine/utensili, adoperano anche diversi tipi e quantità di materiale.

Particolare attenzione dev'essere posta allo studio condotto da Ashby, 2013, che considera necessario valutare l'impatto ambientale di un processo di produzione, sull'intero ciclo di vita: produzione del materiale, fabbricazione del componente, trasporto, utilizzo e smaltimento (riciclaggio) [26]. La Figura 10, schematizza i principali flussi che caratterizzano il ciclo di vita di un componente, confrontando la sua produzione tramite la lavorazione tradizionale *Conventional Machining* (CM), e l'approccio di Fabbricazione Additiva più una lavorazione di finitura (AM+FM).

Suddividere e classificare i diversi contributi di energia e di massa, dà la possibilità di identificare il modo di produzione che permette di definire una bassa domanda di energia o di emissioni di CO<sub>2</sub>.

Il criterio di decisione considera le principali variabili di processo che possono influenzare il risultato, come: l'energia richiesta, la massa ottenuta, la massa di scarto, relative a ciascuna fase ed i rifiuti delle emissioni.

Come riportato in Figura 10 le fasi considerate nel caso del *Conventional Machining* sono:

- Produzione del materiale;
- *Forming*;
- *Conventional Machining*;
- Fase d'uso.

Mentre nel caso della Fabbricazione additiva:

- Produzione del materiale;
- Produzione della polvere (atomizzazione);
- Fabbricazione additiva;
- Processi di finitura;
- Fase d'uso.

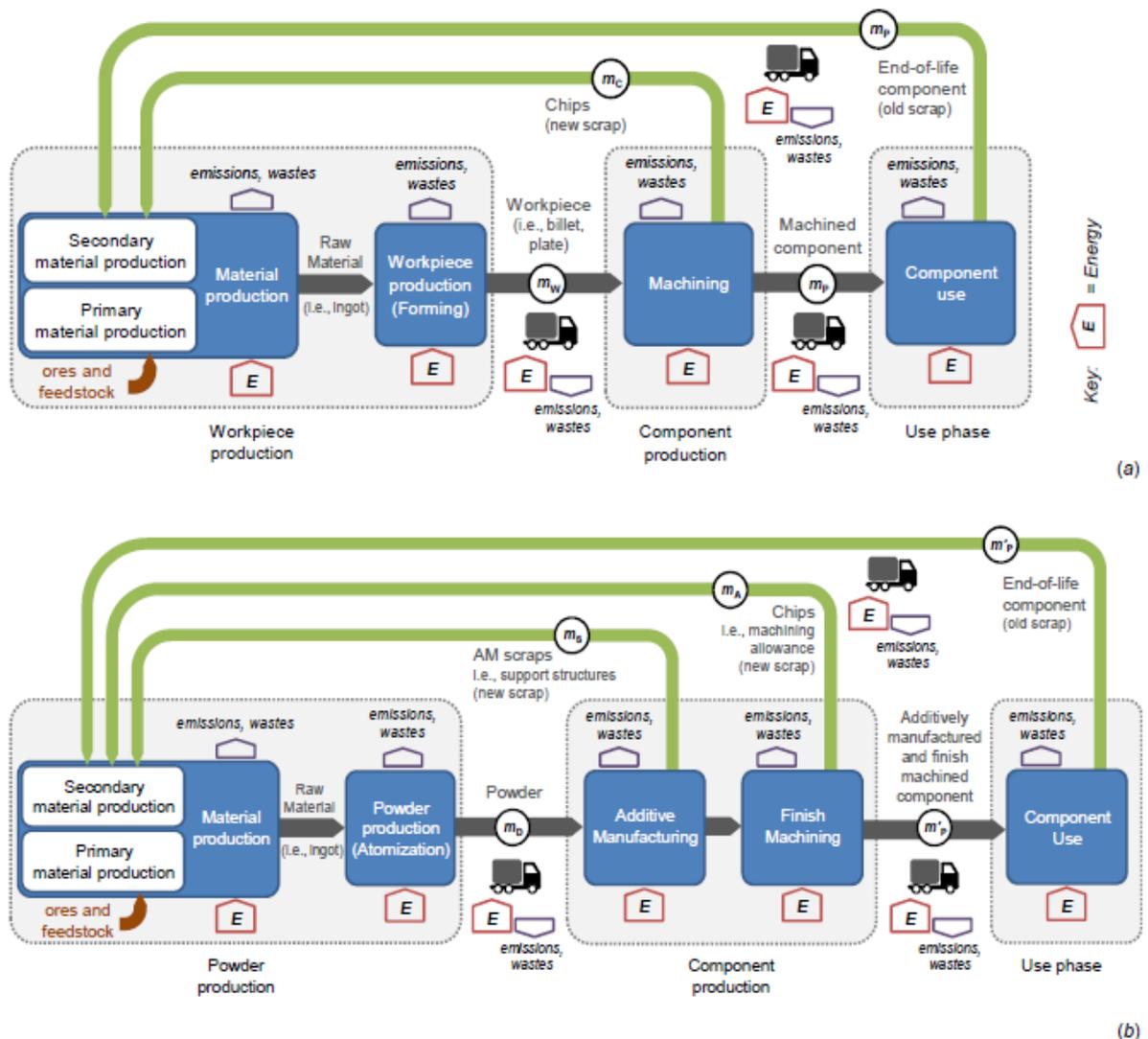


Figura 10. Schema dei principali flussi nella lavorazione convenzionale CM (a) e nel caso di Fabbricazione additiva seguita da processo di finitura (b) [25]

Vengono stabiliti i fattori moltiplicativi costanti  $C_i$  espressi in  $Mj/kg$ , che dipendono dal processo di produzione specifico, dalla scelta del materiale e dalle variabili relative al tipo di

trasporto. I grafici in Figura 11 mostrano i risultati, ottenuti applicando il modello proposto, per la produzione di componenti fatti in Ti-6Al-4V o in acciaio inossidabile, in termini di domanda di energia primaria e di emissioni di CO<sub>2</sub>, a patto di adoperare i corretti valori di  $C_i$  (Mj/kg); in particolare, in questo caso, i contributi relativi alla fase di utilizzo non sono considerati, allora  $C_6 = 0$  [25].

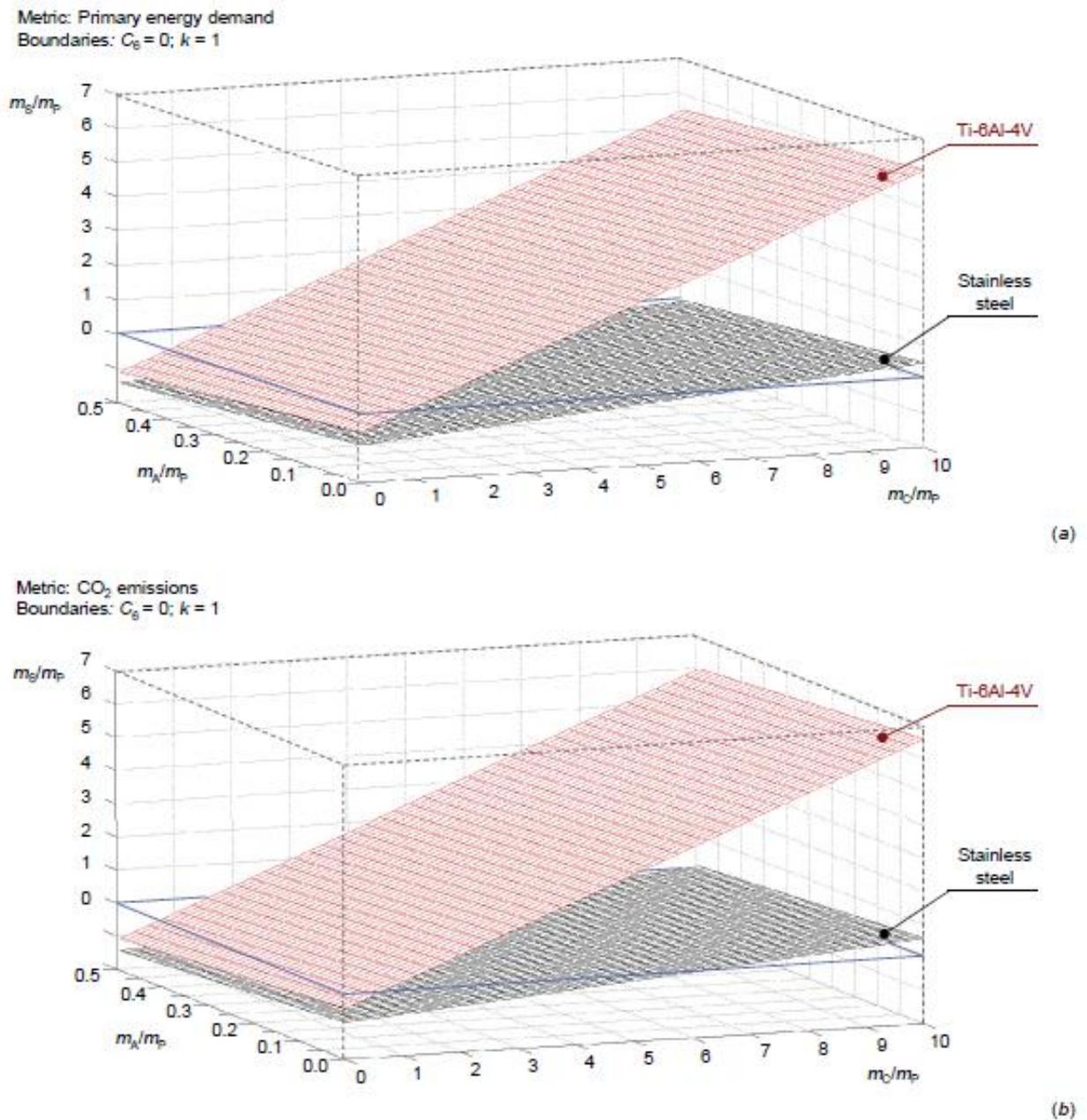


Figura 11. Piani iso-energetici (a) e piani relativi al consumo di CO<sub>2</sub> per l'analisi secondo l'approccio cradle-to-gate + end of life di componenti in Ti-6Al-4V e in acciaio inossidabile [25]

Il criterio stabilito, definisce un piano in tre dimensioni attraverso i rapporti  $m_C/m_P$ ,  $m_A/m_P$ ,  $m_S/m_P$ , tale strumento funziona per qualsiasi forma del componente [25].

$m_C$  = massa di trucioli lavorati tramite CM (kg);  
 $m_A$  = massa di materiale rimosso tramite FM (kg);  
 $m_S$  = massa di supporti costruiti per l'AM (kg);  
 $m_P$  = massa di componenti prodotti tramite CM (kg);  
 $m'_P$  = massa di componenti prodotti tramite AM+FM (kg)

I rapporti tra  $m_C$ ,  $m_A$ ,  $m_S$  e  $m_P$ , permettono di stabilire la posizione di un punto specifico lungo il piano definito in tre dimensioni. In particolare, considerando l'equazione riportata di seguito, ottenuta dividendo un'equazione precedente [25] per il fattore  $m_P$ , si ipotizza uguale la domanda di energia per l'approccio CM e AM + FM:

$$C_2 \times \frac{m_C}{m_P} - C_4 \times \frac{m_A}{m_P} - C_5 \times \frac{m_S}{m_P} + (C_1 - kC_3) + (1 - k)C_6 = 0 \quad \text{Equazione 1 [25]} \quad (1)$$

Dove  $k$  è un parametro che dipende dal risparmio di materiale ottenuto.

Se il punto considerato, cade nel volume tracciato dal piano definito dall'equazione 25, allora l'approccio AM + FM è la scelta migliore in termini energetici e di emissione di CO<sub>2</sub>; al contrario invece per la lavorazione convenzionale CM. La Figura 12 mostra gli effetti sull'energia primaria dovuti alle variazioni del valore  $k$ : quando  $k$  si riduce, il piano iso-energetico si sposta più in alto [25].

Inoltre, La Figura 11, dimostra come le proprietà ecologiche dei materiali, così come il modo di produrre scelto, influenzino i risultati, infatti i piani per Ti-6Al-4V e per l'acciaio inossidabile, sono chiaramente differenti:

1. L'inclinazione del piano per il componente in Ti-6Al-4V lungo il piano  $m_C/m_P - m_S/m_P$ , è maggiore rispetto a quella per il componente in acciaio inossidabile;
2. Per la lavorazione CM, il rapporto  $m_C/m_P$ , ha un grande impatto, più aumenta, più l'approccio in questione diventa svantaggioso a causa della maggiore quantità di materiale di scarto.

Una conclusione simile può essere tracciata considerando il rapporto  $m_S/m_P$ , per l'approccio AM + FM: l'aumento della massa delle strutture di supporto comporta un danneggiamento delle performance in termini ambientali. Minori sono le proprietà ecologiche del materiale lavorato, maggiore è il suo impatto [25].

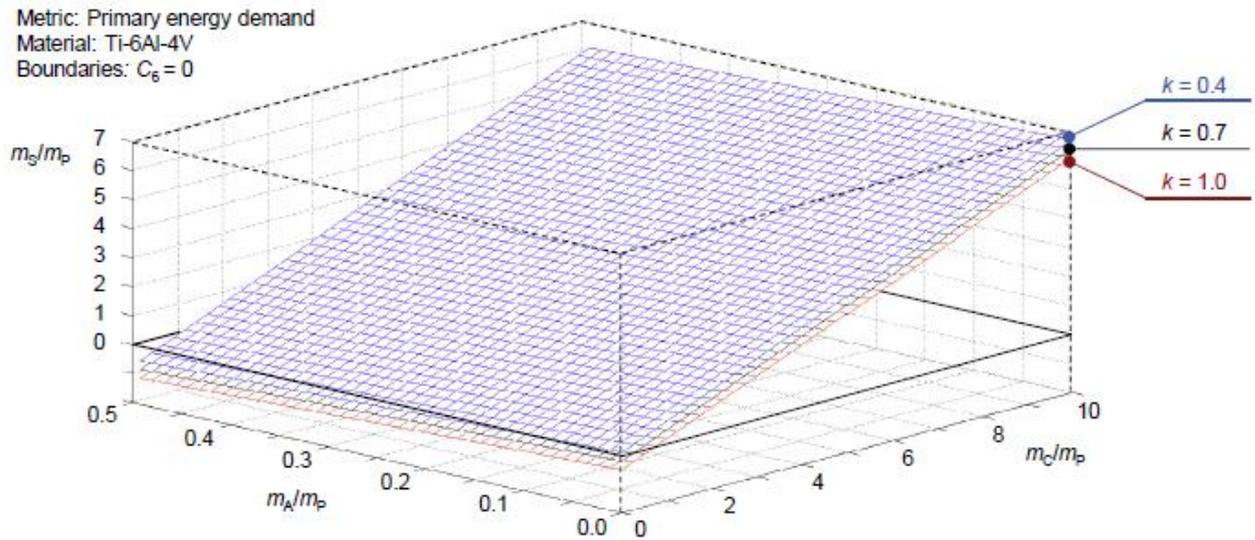


Figura 12. Piani iso-energetici per l'analisi dalla culla alla tomba di componenti in Ti-6Al-4V e in acciaio inossidabile, in funzione del parametro  $k$  [25]

Anche Kellens et al., 2013, 2014, realizzano un modello parametrico per la stima dell'impatto ambientale di un processo di *Selective Laser Sintering* con materiali polimerici quali, PA2200 e PA3200GF. Tale modello prende in considerazione il consumo di risorse ed energia, quantificando l'impatto rispetto all'altezza totale di costruzione ( $H$ ) ed al volume ( $V$ ). Nella Tabella 1 sono riportati i modelli parametrici proposti [27] [28].

\*Eco-points calcolati considerando il metodo *ReCiPe Europe Endpoint H/A*

$\mu\text{m}$  = micrometri;  $\text{m}$  = metri;  $\text{m}^3$  = metri cubi.

Material	Layer thickness	Parametric process model
PA2200	120 $\mu\text{m}$	Impact [Pts*] = 3.05 + 80.99 H [m] + 22.76 V [m <sup>3</sup> ]
PA2200	150 $\mu\text{m}$	Impact [Pts*] = 2.01 + 43.79 H [m] + 3,489.61 V [m <sup>3</sup> ]
PA3200 GF	150 $\mu\text{m}$	Impact [Pts*] = 2.32 + 86.22 H [m] + 89.24 V [m <sup>3</sup> ]

Tabella 1. Modelli parametrici per la valutazione dell'impatto ambientale del processo *Selective Laser Sintering* (SLS) [1]

Raccolti i vari dati durante l'intero ciclo di vita, come, i valori energetici, i flussi di risorse e rifiuti, quantificato le emissioni, è possibile attuare un piano correttivo, definendo in particolare tre categorie principali di miglioramento: 1. Selezione di macchine utensili e processi più appropriati; 2. Progettazione di macchine utensili ottimizzata; 3. Parametri di processo ottimizzati, come ridurre al minimo il tempo totale di produzione così da minimizzare la richiesta di energia; questo significa diminuzione dell'altezza dei pezzi prodotti con SLS, volumi delle strutture di supporto più piccoli nel caso di FDM [27].

Dai vari studi condotti, risulta però che, rispetto alle tecnologie di produzione convenzionali, l'*Additive Manufacturing* riporta valori di consumo energetico specifico di 1 – 2 ordini di grandezza superiore rispetto alle tecnologie di produzione convenzionali; la causa è rintracciata nelle basse velocità alle quali si eseguono tali processi [1].

Progettare processi di AM a minor impatto ambientale, che lavorano cioè con minor richiesta d'energia e di risorse, permette la realizzazione di prodotti che a loro volta avranno una minore influenza negativa sull'ambiente, per cui la progettazione del sistema a monte è molto importante. Al fine di ridurre al minimo l'impatto sull'ambiente delle tecnologie di produzione, necessario è soffermarsi anche sulla parte di smaltimento e manipolazione dei materiali utilizzati; per questa ragione A. Drizo, J. Pegna, 2006, nel loro studio soffermano la loro attenzione sull'analisi tossicologica e sui possibili effetti nocivi dei materiali utilizzati in AM [29].

Ognuno di questi è provvisto di una dettagliata scheda di sicurezza con le relative precauzioni di utilizzo, e per alcuni di essi è riconosciuta la pericolosità per occhi e pericolo di irritazione cutanea, con possibili reazioni allergiche a seguito dell'inalazione dei vapori; Short et al., 2015, infatti, hanno realizzato una guida dettagliata per i laboratori di prototipazione rapida.

Inoltre, i rifiuti di produzione hanno un grande impatto sull'ambiente, per cui, è assolutamente necessario definire una corretta strategia per il loro smaltimento [30].

La minimizzazione dell'impatto ambientale è solo una parte degli obiettivi che devono essere considerati in fase di progettazione, i risultati discussi, devono essere integrati con altri obiettivi, di carattere economico e tecnologico.

## 2.4 Limiti della Fabbricazione Additiva

A questo punto, è però necessario precisare, che questa tecnica presenta anche degli svantaggi, sia in termini di processo che di prodotto [2].

Dal punto di vista del processo i limiti principali sono rappresentati da:

- Volumi di lavoro ridotti che di conseguenza influenzano la dimensione dei pezzi;
- Velocità di costruzione limitata;
- Ciascuna macchina lavora solo con determinati materiali.

Per ciò che concerne il prodotto invece si evidenziano [2]:

- La necessità di adoperare i supporti durante la lavorazione;
- Il numero di materiali che può essere utilizzato è limitato, ragion per cui questi sono caratterizzati da costo elevato;

Un altro limite importante, è che i pezzi ottenuti presentano requisiti inferiori rispetto a quelli richiesti in termini di qualità e di rugosità delle superfici delle parti prodotte, cosa che influenza direttamente le proprietà funzionali del componente; tipicamente infatti, le parti metalliche realizzate con la fabbricazione additiva, presentano una rugosità media  $R_a$  8–25  $\mu\text{m}$  e per tale motivo, tali processi sono seguiti da post-trattamenti di finitura. Inoltre, le tecniche di AM nella maggior parte dei casi, sono caratterizzate durante la fase di produzione da cicli di raffreddamento e riscaldamento piuttosto rapidi, i quali possono essere considerati causa di tensioni residue nei pezzi *as-built* [31].

Lo studio condotto da Atzeni et al., 2016, (cfr. Paragrafo 3.2.4.5), considera la tecnica di Fabbricazione Additiva, *Direct Metal Laser Sintering* (DMLS), e analizzando il processo, è emerso che la rugosità superficiale dipende per lo più dall'orientamento della superficie e dalla presenza di strutture di sostegno.

Misure sulla superficie superiore orizzontale di parti in AlSi10Mg, prodotte con fusione laser, hanno fatto emergere che la rugosità superficiale può essere ridotta del 25% se vengono ottimizzati i parametri di processo, ottenendo una rugosità media di circa 15  $\mu\text{m}$ . In aggiunta, la qualità della superficie può essere ancora migliorata con un post-trattamento di finitura [32].

È comunque necessario precisare come l'impatto dei benefici e dei punti deboli della tecnologia di *Additive Manufacturing* dipenda strettamente dalla specifica applicazione [1].

## 2.5 Electron Beam Melting (EBM)

L'*Electron Beam Melting* (EBM) è una tecnica di Fabbricazione Additiva che fa uso di polvere metallica pura ad un solo componente, adoperata per la realizzazione di pezzi in metallo completamente densi.

Rispetto alle altre tecniche di *Additive Manufacturing*, come evidenziato da Herzog et al., 2016, l'EBM si differenzia per l'alta velocità di produzione e in particolare, facendo un confronto con la *Selective Laser Melting* (SLM), il letto di polvere non viene fuso con il laser, bensì tramite un fascio di elettroni, che fonde strato dopo strato la polvere, attenendosi alla geometria esatta presente nel modello CAD [33].

L'intero processo viene realizzato in una camera sottovuoto, così da permettere la lavorazione di materiali che invece potrebbero reagire con l'ossigeno, dando origine a composti non voluti; la pressione di base fornita durante l'intero processo è minore di  $10^{-2}$  Pa. Con l'introduzione dell'elio durante la fusione, la pressione all'interno della camera viene aumentata di circa 1 Pa, così che non si verifichi la carica elettrica delle particelle di polvere e che la conduzione del calore ed il raffreddamento del fuso vengano facilitati [33] [34].

La tecnica è stata introdotta per la prima volta nel 1997, da Arcam, azienda svedese che di recente ha anche sviluppato il *Multibeam System*, che grazie al controllo del fascio da parte di bobine elettromagnetiche, consente un controllo molto veloce e preciso del raggio, riuscendo così a fondere nello stesso istante più punti sul piano, aumentando ulteriormente la velocità di sinterizzazione [35].

Essendo che il settore medico e quello aerospaziale sono i settori di maggior impiego per i pezzi realizzati con la tecnica di *Electron Beam Melting*, è assolutamente necessario caratterizzare e conoscere quali sono i limiti di fatica a cui si possono esporre i pezzi, così da evitare eventuali problemi; per questa ragione nello studio di Hrabe et al., 2017, sono stati analizzati i difetti interni e le tensioni residue di pezzi in Ti-6Al-4V prodotti con *Electron Beam Melting*, in diverse condizioni [36]:

- al termine della produzione;
- a seguito di operazioni di stress meccanico;
- dopo il trattamento di pressatura isostatica a caldo (HIP).

Al termine delle operazioni di stress meccanico la microstruttura dei pezzi è rimasta inalterata rispetto all'originale, mentre a seguito dell'*HIPing* è apparsa più grossolana. In tutti e tre i casi non sono stati evidenziati valori rilevanti di tensioni residue, questo lo si deve all'alta temperatura alla quale viene realizzato questo processo di AM [36].

L'*Electron Beam Melting* si definisce infatti un processo caldo: la piattaforma di costruzione, ancora prima di iniziare il processo, viene riscaldata a circa 700°C, ed ogni strato di polvere è preriscaldato prima della fusione, ad una temperatura minima di 600°C, temperatura che viene mantenuta tale durante tutta la lavorazione [37]; procedendo così per 5h, si ottengono pezzi privi di tensioni residue [38], contrariamente invece ai processi di *Laser Sintering*, che vengono realizzati in una camera non riscaldata, con gas inerte, generando maggiori tensioni residue, così da rendere necessari i post-trattamenti termici. Allo stesso tempo però, è necessario sottolineare il fatto che l'EBM adoperi polveri più grandi e realizzi strati più spessi, per cui, rispetto ai processi LS, la rugosità superficiale risulta maggiore [36] [39].

Più nel dettaglio per il Ti-6Al-4V la temperatura ottimale adoperata nel processo EBM è stimata a 700°C [33] [40], mentre per il Cu la temperatura è inferiore ai 500°C [33] [41].

Per ciò che riguarda invece la resistenza a fatica, i risultati emersi dalla studio di Hrabec et al., 2017, sia nel caso *as-built*, sia a seguito delle operazioni di stress, sono molto simili; in questi due casi la resistenza a fatica è stata misurata fino a 107 cicli, applicando una pressione di 200-250 MPa; risultati migliori, dovuti ad una diminuzione della porosità interna e dei vuoti, sono emersi nella condizione del trattamento di pressatura isostatica a caldo, con 107 cicli ad una pressione di 550-600 MPa.

In particolare, i pori sono dovuti a gas intrappolato, hanno forma sferica e la loro dimensione è paragonabile a quella della polvere adoperata nel processo EBM; sono considerati inevitabili nei processi a deposizione di polvere.

I vuoti invece, possono essere evitati, in quanto sono la conseguenza di una fusione incompleta; la loro forma è irregolare e la loro dimensione può essere indicata tra una centinaia di micron o molto più grandi [36].

Nello studio condotto da Ackelid e Svensson, 2009, ai componenti ottenuti con EBM è stato applicato il trattamento di pressatura isostatica a caldo (*HIP*) così da ridurre la porosità, ed incrementare del 20% la loro resistenza a fatica [42].

Come sottolineato da Hrabec et al., 2017, è probabile che questo miglioramento non sia dovuto solo alla diminuzione della porosità, ma anche ad un cambiamento della microstruttura a seguito dell'*HIPing*.

Nel seguente studio, viene osservato un trattamento termico antistress alternativo all'*HIPing*, che senza ridurre la porosità interna del pezzo, potrebbe comunque portare ad un incremento della sua resistenza a fatica, permettendo anche un notevole risparmio.

Il trattamento *HIP* standard è stato eseguito per 2 h a 900 °C, adoperando dell'argon, ad una pressione di 100 MPa e ad una velocità di riscaldamento e raffreddamento di 12 °C/min; il trattamento termico antistress invece viene realizzato per 5 h, con dell'aria a 650°C, seguito dal raffreddamento in forno.

Il suo risultato è stato la completa eliminazione dello stress residuo riducendo al minimo l'alterazione della microstruttura [36].

Per Ge et al., 2017, è necessario evidenziare come la qualità del risultato dipenda anche dall'interazione tra il fascio di elettroni ed i materiali, ed è fortemente legata al comportamento del materiale fuso, soprattutto nel caso delle strutture a pareti sottili.

Proprio per quest'ultima ragione, uno dei difetti più noti a seguito dell'EBM è il *balling*.

In particolare, questi difetti si generano quando la temperatura del fluido è piuttosto bassa e le tensioni molto alte. Infatti, quando la temperatura del materiale fuso cresce, i difetti spariscono, ma si verifica l'effetto della distorsione, causata probabilmente dalla presenza di una particella non completamente fusa in contatto con il materiale fluido; la soluzione è rintracciata aumentando ulteriormente la temperatura del fluido, che permetterà la riduzione dell'effetto generato dalla particella semi-fusa [43].

Alcuni studi hanno evidenziato per il Ti-6Al-4V un limite di resistenza inferiore quando trattato con l'*Electrom Beam Melting*, rispetto al caso in cui si agisca con trattamenti laser [39].

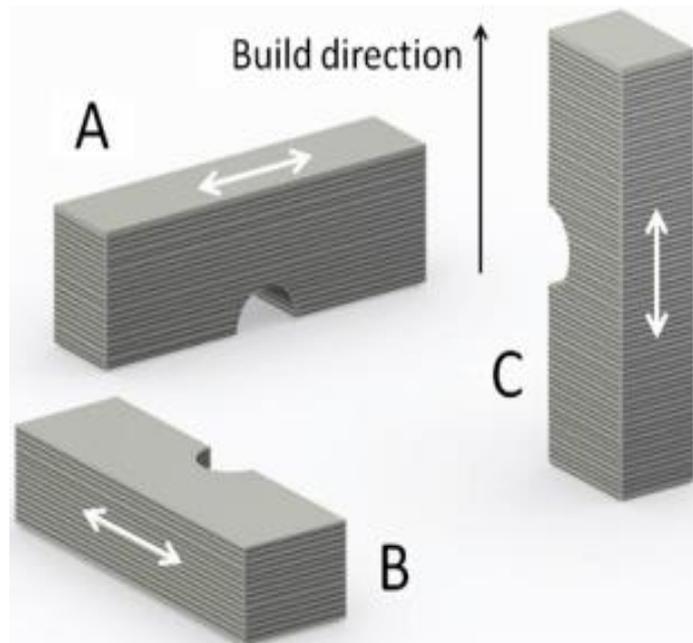


Figura 13. Direzione di costruzione dei tre campioni soggetti a fatica. La freccia bianca indica la direzione della sollecitazione impiegata [44]

Nello studio di Nicoletto et al., 2018 i campioni in Ti-6Al-4V, ottenuti con EBM, sono soggetti a prove di fatica, così da poter valutare la loro rugosità e morfologia; sono stati sottoposti alla prova tre campioni con orientamento diverso rispetto alla direzione di costruzione (Figura 13): Tipo A (cresciuto orizzontalmente), Tipo B (cresciuto a 45°), Tipo C (cresciuto verticalmente).

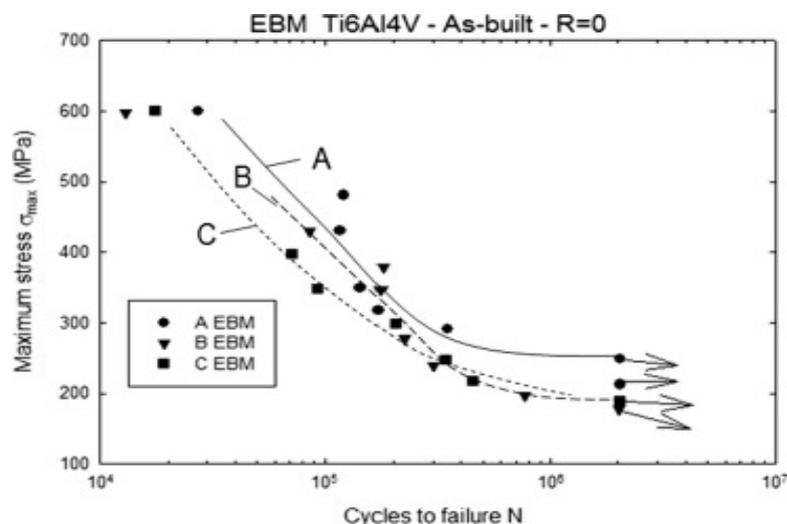
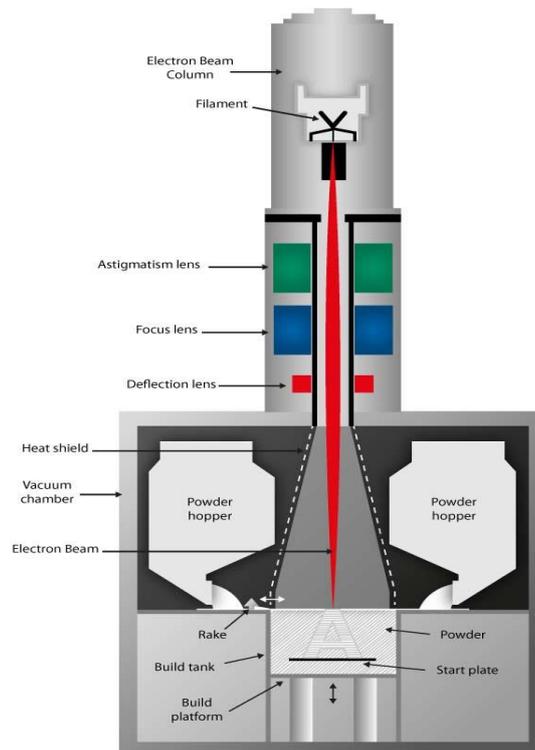


Figura 14. Curve di fatica dei tre campioni [44]

I campioni di Tipo A dimostrano prestazioni più elevate in termini di resistenza a stress, e quindi valori migliori di rugosità superficiale.

In particolare, lo studio si sofferma sul confronto dei risultati ottenuti a seguito dell'EBM e del *Direct Metal Laser Sintering* (DMLS), la resistenza alle prove di fatica a cui sono sottoposti i campioni in Ti-6Al-4V, è maggiore nel caso del DMLS, mentre la rugosità superficiale risulta migliore a seguito del trattamento EBM [44].



**Figura 15. Schema della camera di costruzione [45]**



**Figura 16. Schema dell'impianto EBM [45]**

Gli sviluppi dell'Arcam puntano a migliorare e rendere sempre più innovativo il processo, ottimizzandolo e rendendolo più veloce, non è mai stato di suo interesse puntare a realizzare camere di lavoro più grandi; infatti, l'EBM è una tecnica adoperata soprattutto nel settore biomedico e nella gioielleria, dove per l'appunto non vi è richiesta di oggetti di grandi dimensioni. Sono note anche le applicazioni nel settore aerospaziale, aeronautico e nella meccanica avanzata [35]; il materiale soggetto a questo tipo di lavorazione è generalmente il Titanio in lega o puro, incluso il Ti-6Al-4V [43].

### 3. Processi di finitura per parti realizzate con Fabbricazione Additiva

Come emerso dai limiti dell'AM, la maggior parte dei processi appartenenti a questa tecnologia necessitano di post-trattamenti; le tecniche di finitura sono molteplici e classificabili in base alla fonte dell'energia adoperata e/o in base al materiale grezzo utilizzato.

La scelta del più appropriato processo di finitura ha effetti notevoli sul miglioramento della rugosità superficiale, dell'integrità delle parti, delle tolleranze, e non meno in termini di costi e *lead time*.

Generalmente il costo del processo di finitura è legato al tipo di tecnologie adoperate per la lavorazione, al tempo necessario per svolgerla e al livello di finitura superficiale richiesta.

I processi di finitura vengono applicati per migliorare l'aspetto dell'oggetto, per favorire operazioni di *assembly* o per aumentare la resistenza chimica, la resistenza all'usura, allo *scratching*, per migliorare la durezza superficiale, ma anche per rimuovere imperfezioni date dal processo originario.

Si individuano due categorie principali di finitura:

1. Finiture additive;
2. Finiture sottrattive e di rimodellazione.

Anche i processi di finitura vengono analizzati tenendo conto dei consumi energetici, dell'impatto ambientale e degli aspetti economici, come ampiamente dettagliato dall'articolo di Aurich et al., 2013 [46].

Davidson et al., 2007, nel loro articolo, si soffermano su come convertire i processi di post-trattamento utilizzati in genere, in processi "verdi", adoperando dei materiali abrasivi innovativi che permettono di realizzare una finitura a secco, così da evitare al termine della finitura lo scarico di residui liquidi inquinanti, che in base ai metodi utilizzati e al tipo di materiale, può risultare difficoltoso e costoso.

La maggior parte di questi processi infatti, effettua il trattamento con materiali abrasivi e soluzione acquosa, trattata con componenti chimici, i quali vengono adoperati per rendere più incisiva l'azione abrasiva dei media.

Certamente ad oggi, non si tratta di processi convenzionali che possono essere adoperati in tutte le applicazioni di finitura, ma vengono studiati come potenziali soluzioni *eco-friendly*, così da evitare lo scarico di rifiuti umidi a seguito di queste operazioni [47].

#### 3.1 Le finiture additive

Le finiture additive consistono nell'aggiunta di materiale, utilizzata per ridurre o annullare la rugosità dei pezzi realizzati con AM e per migliorare le loro caratteristiche tattili.

Il materiale può essere aggiunto tramite diverse tecniche, così da poter suddividere i vari processi in:

1. *Spray coating*;
2. *Brush coating*;
3. Altri processi additivi.

### 3.1.1 Spray coating

Lo *Spray Coating* è spesso considerato una valida alternativa di finitura per pezzi ottenuti con una tecnica di Fabbricazione Additiva, in particolare nel caso del *Fused Deposition Modelling*.

Indipendentemente dalla tecnica utilizzata, l'attrezzatura e gli strumenti sono pressoché molto simili tra loro; il dispositivo di spruzzatura, un aerografo, è provvisto da valvole per l'ingresso di gas e polvere; l'ossigeno ed il carburante, insieme a della polvere, vengono inseriti nella canna.

Con una scintilla si provvede ad accendere la miscela di gas, che riscalda e trasmette alla polvere un'elevata velocità lungo la canna.

In questo caso descritto da Kuroda et al., 2008, si parla più precisamente di *High Velocity Oxy-Fuel Spraying (HVOF)*.

L'aerografo, distribuisce in maniera uniforme sul pezzo la miscela riscaldata, adoperando un sistema ad aria compressa per la deposizione della soluzione, definendo un rivestimento molto denso e resistente [48] [49].

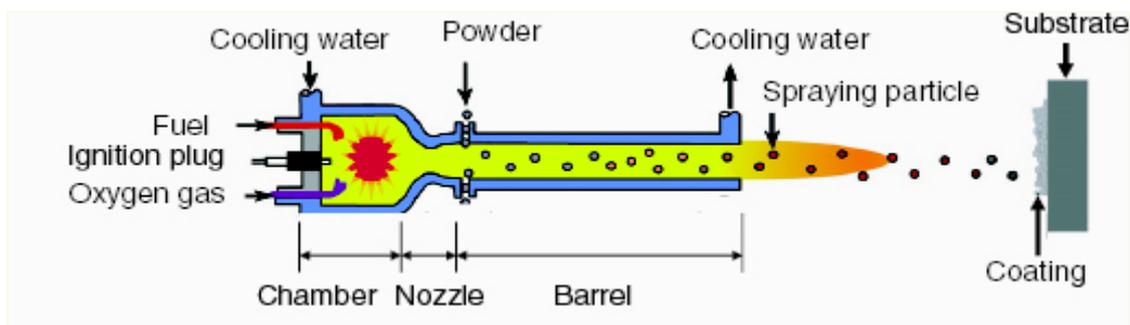


Figura 17. Dispositivo ad alta velocità utilizzato nello spray coating HVOF [48]

Il *Combustion Flame Spraying* definisce un rivestimento che non è fortemente legato al pezzo trattato, in quanto tutto il processo si svolge ad una velocità di fiamma non molto alta, 50 m/s, e ad una temperatura minore di 3000 °C; generalmente come rivestimento si utilizza polvere o filo. Il processo risulta piuttosto economico e semplice da realizzare, per cui è spesso adoperato in lavori dove non sono richieste grandi prestazioni [49].

Interessante è l'applicazione del processo *Two-Wire Electric Arc Spraying*, la deposizione è realizzata tramite due fili elettricamente conduttivi, che tendono ad incontrarsi e successivamente a fondersi.

La fusione e la deposizione è possibile grazie all'“arco”, ed il rivestimento è spruzzato a seguito di un meccanismo ad aria compressa. Si tratta anche in questo caso di una procedura economica, che utilizza in genere zinco o alluminio, materiali che presentano un'elevata resistenza alla corrosione [49].

Nel *Plasma Spraying* la torcia al plasma permette che avvenga il riscaldamento e la successiva applicazione del rivestimento. Il prodotto fuso, viene applicato definendo un rivestimento dallo spessore variabile di pochi micrometri o diversi millimetri.

La pistola che si adopera permette un'applicazione omogenea ed uniforme in tempi piuttosto rapidi. Si tratta di un processo adattabile che può essere realizzato in svariate condizioni [49].

Il *Vacuum Plasma Spraying* invece, si svolge a bassa temperatura, realizzato sottovuoto, in un ambiente continuamente monitorato così da ottenere un lavoro più preciso. È un processo utilizzato per lo più per rivestire componenti automobilistici [49].

Il *Cold Spray Coating* è molto simile allo *Spray Coating* visto finora, la differenza sostanziale risiede nel fatto che le particelle non sono sottoposte ad alte temperature, anzi, tutto il processo

viene realizzato a freddo; piuttosto, le particelle sono accelerate ad una velocità molto elevata dal gas di trasporto attraverso l'ugello (*de Laval*); a tale velocità l'energia cinetica permette una deformazione plastica delle stesse, che si legano al substrato di impatto, formando il rivestimento. La giusta velocità dipende dal tipo di materiale, dalla temperatura a cui è realizzato il processo e dalle dimensioni della polvere [50];

In generale è opportuno eseguire la finitura in ambienti adeguati, ovvero areati o in una cabina ventilata adatta per operazioni di verniciatura.

La tecnica, trova applicazione in diversi contesti industriali e permette di scegliere tra differenti tipi di materiali per il rivestimento: leghe metalliche, ceramiche, plastiche e materiali composti; viene infatti utilizzata per ottenere dei rivestimenti utili nel settore aeronautico, per proteggere i prodotti dall'usura, da alte temperature, da sostanze chimiche e proteggere le opere civili da condizioni ambientali come la pioggia e l'umidità [49].

### 3.1.2 Brush Coating

La smaltatura è una tecnica di finitura molto antica e piuttosto diffusa, adoperata per componenti ceramici o metallici, con fine estetico ma anche tecnico, rendendo cioè le superfici più resistenti e annullando la porosità.

La qualità del risultato e lo spessore del rivestimento che definisce la finitura, dipende esclusivamente dall'operatore che ha il totale controllo del processo, così da applicare il rivestimento solo dove richiesto e seguendo le istruzioni fornite.

I tipi di smalti adoperati sono gli smalti vetrosi e gli smalti sintetici a base polimerica, su cui si sta concentrando la ricerca; vengono adoperati per la finitura di prototipi ed oggetti d'uso, grazie alle loro proprietà tecniche: sono sicuri ed i vapori rilasciati durante il processo non sono dannosi. Prima di realizzare il processo è necessario effettuare una serie di verifiche, come l'aderenza dei colori alla superficie; la viscosità del materiale è infatti molto influente sul flusso, un rivestimento molto viscoso risulta più difficile da applicare correttamente rispetto ad uno caratterizzato da bassa viscosità, per cui, il controllo della viscosità è necessario per determinare un corretto rivestimento.

Le stazioni di lavoro vengono generalmente posizionate sotto una luce UV, così da aiutare l'operatore a svolgere correttamente l'operazione.

Si può quindi concludere asserendo che, il *brush coating* è un processo caratterizzato da un basso costo di impostazione, piuttosto semplice, la cui bontà dipende quasi totalmente dal lavoro manuale svolto dall'operatore, notevoli sono infatti le variazioni tra le prestazioni.

È richiesto poco controllo durante il processo, per cui è possibile che la qualità del risultato sia scarsa; la finitura è realizzata piuttosto lentamente, ecco perché considerata adatta e conveniente per piccoli volumi [51].

### 3.1.3 Altri processi additivi

Il Sugru è stato sviluppato da Jane Nì Dhulchaointigh, una *product designer* e studentessa di ricerca post-laurea presso il *Royal Collage of Art*; si tratta di un elastomero di silicone modellabile, autoadesivo e autopolimerizzante, molto simile alla plastilina ma composto da un nuovo tipo di silicone.

Il Sugru consente di riparare, migliorare e personalizzare gli oggetti in maniera molto semplice, ha una tenuta forte su molti materiali ed è resistente a carichi consistenti.

L'applicazione del Sugru sugli oggetti è molto semplice, non servono particolari attrezzature ed elevati consumi d'energia.

Il tutto si svolge in circa 15 minuti: il prodotto viene riscaldato e successivamente avviene la stesura e l'applicazione della gomma sulle superfici; le ore per la polimerizzazione sono 10 e non necessitano di alcuna manodopera.

Una volta applicato, il Sugru rende i pezzi impermeabili, più confortevoli ed isolati da un punto di vista termico ed elettrico; rappresenta quindi un'ottima alternativa per modificare le proprietà fotometriche (cambiare il colore dei pezzi) e tattili (modificare il coefficiente d'attrito), e grazie alla sua morbidezza, è adoperato sia sui prototipi e sia per migliorare le impugnature delle parti funzionali [52].

## 3.2 Le finiture sottrattive

Questo tipo di finiture consiste nella rimozione di materiale, così da ottenere un valore di rugosità pari a quello definito in fase progettuale, dal momento che la rugosità influenza le caratteristiche tecnico-funzionali del pezzo.

La rimozione del materiale consiste nell'eliminazione delle creste più evidenti fino ad arrivare alla linea media del profilo o arrivare a livellare completamente qualsiasi oscillazione macroscopica della superficie.

Effettuare queste rimozioni significa ridurre la massa del campione in esame, alterandone la morfologia.

Le finiture sottrattive si suddividono in: meccaniche, chimiche e termiche.

### 3.2.1 Finiture chimiche

Quando si trattano le finiture chimiche si parla di “solvente”, ovvero un liquido capace di sciogliere un soluto, che può essere solido, liquido o gassoso, caratterizzato da un basso punto di ebollizione e da una notevole capacità di evaporazione.

Il solvente più utilizzato è l'acqua, ma esistono anche diversi solventi organici, adoperati in svariati ambiti industriali [53] [54].

Esistono diversi approcci con cui trattare parti realizzate con tecniche di Fabbricazione Additiva, tra cui: il *vapor polishing* o *vapor smoothing*;

Le finiture chimiche nell'ambito dell'*Additive Manufacturing* vengono impiegate soprattutto per migliorare le superfici degli stampi per termoformatura di preserie o *test* di *marketing*, come nel caso del *packaging* alimentare.

#### 3.2.1.1 Vapor Polishing o Vapor Smoothing

Il *vapor polishing* o *vapor smoothing*, consiste nell'utilizzo di vapori caldi di solvente per la finitura di materiali termoplastici, riuscendo a lucidare i pezzi, riducendone sensibilmente la rugosità di superficie [55]; è utilizzato per lo più nella produzione di prototipi, utensili o attrezzature, e per parti finite. Alcuni solventi sono caratterizzati da una temperatura di ebollizione veramente bassa, con i quali viene infatti realizzato il *vapor smoothing* “a freddo”.

Il limite di queste tecniche è rappresentato principalmente dalla pericolosità per l'operatore in termini di inalazione dei vapori che si generano durante la finitura, definita quindi non salutare [56]; per questa ragione infatti il *vapor smoothing* a freddo è considerato un processo meno dannoso.

Il risultato è legato per lo più all'attrezzatura che si possiede, da ciò che si vuole ottenere e dalle caratteristiche geometriche del pezzo.

Considerate tutte queste variabili, spesso la buona riuscita del processo non si verifica al primo tentativo, ma è necessario capire ed impostare i giusti parametri.

Il *vapor polishing* riesce a raggiungere parti interne e dettagli del pezzo che non sarebbe possibile rifinire con una lucidatura manuale.

È possibile però, soprattutto nel caso di pezzi di piccole dimensioni, che il solvente non si limiti ad agire solo sulla superficie del componente ma anche all'interno, distruggendo la struttura originaria; questo capita quando i componenti da rifinire non sono stati trattati in maniera corretta da un punto di vista termico, presentando di conseguenza dello stress interno che li rende più vulnerabili a danneggiamenti che possono essere provocati dal *vapor polishing* [55].

Nonostante i limiti descritti, si tratta di un processo rapido che permette uniformità nel trattamento.

### 3.2.2 Flusso di lucidatura chimico-abrasivo

Nell'articolo scientifico a cura di Mohammadian et al., 2018, è stato condotto su componenti in IN625, realizzati con una tecnica di AM, un processo di finitura innovativa consistente nella combinazione di un flusso di lucidatura chimico-abrasivo [57].

L'Inconel 625 (IN625) è una superlega, che presenta una notevole resistenza alla corrosione e alle alte temperature, ed è stato dimostrato da Petrovic et al., 2010, di essere adatta per la realizzazione di pezzi leggeri e complessi dell'industria automobilistica e aerospaziale [58].

Un esempio di lucidatura chimica insieme a lucidatura abrasiva, è la tecnica *Chemical Mechanical Polishing (CMP)*, combinazione tra processo di abrasione meccanica ed una pasta abrasiva che svolge un'azione chimica, utilizzata da Lee et al., 2016, per la lucidatura della lega Ti-6Al-4V; questo metodo si rileva inefficace per la finitura delle aree difficili da raggiungere [59].

Mohammadian et al., 2018, riportano lo studio di Ramesh et al., 2014, i quali testano la combinazione chimica-abrasiva di un flusso su rivestimenti in IN718 su rame; la superficie, immersa in una soluzione chimica, è soggetto al test erosivo, grazie alla presenza di particelle erodenti [57] [60].

Il risultato di tale combinazione è stato verificato effettuando un confronto tra tre modi possibili di lucidatura:

1. flusso di particelle abrasive in acqua;
2. flusso di una soluzione di lucidatura chimica senza abrasivo;
3. flusso di particelle abrasive in una soluzione chimica.

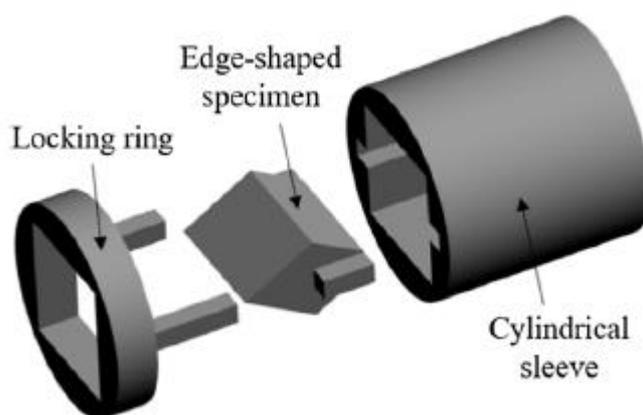
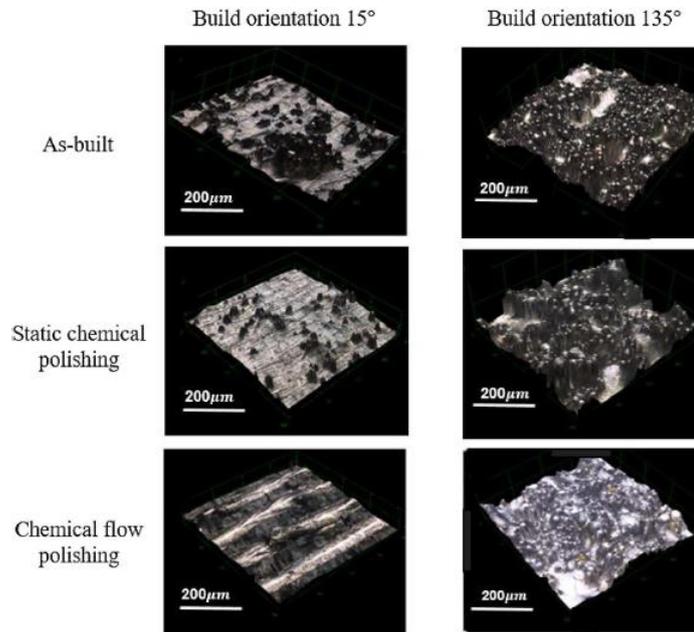


Figura 18. I due tipi di campioni sottoposti alla lucidatura [57]

Come mostrato in Figura 18, i campioni adoperati si suddividono in due tipi:

1. Il campione principale, costituito da: la manica cilindrica con esterno circolare ed interno quadrato, più un anello di bloccaggio con due perni;
2. Il secondo invece, costituito da due superfici con due orientamenti di costruzione differenti.

Nel caso del secondo campione, per testare l'efficienza del processo di lucidatura in termini di rugosità, sono stati osservati i risultati su due orientamenti di costruzione diversi: 15° (bassa rugosità) e 135° (elevata rugosità).



*Figura 19. Considerati entrambi gli orientamenti di costruzione, è riportata l'immagine al microscopio della superficie a seguito della sola realizzazione con la tecnica di AM, a seguito della lucidatura chimica statica e a seguito del flusso di lucidatura chimico [57]*

Nella Figura 19 sono rappresentati i campioni in IN625 ottenuti tramite SLM secondo l'orientamento di costruzione di 15° e 135°, facendo un confronto tra tre momenti: prima della finitura, a seguito della lucidatura chimica statica, a seguito della lucidatura a flusso chimico. Nel caso dell'orientamento a 135° la presenza di particelle semi saldate risulta più evidente rispetto all'orientamento di 15°.

A seguito della lucidatura chimica statica, le particelle semi saldate risultano essere parzialmente rimosse in entrambi gli orientamenti di costruzione; nel caso del flusso chimico di lucidatura invece, la maggior parte delle particelle semi-saldate vengono rimosse in entrambi gli orientamenti.

I risultati dimostrano inoltre che, con la lucidatura a flusso chimico si ottiene una maggiore riduzione di rugosità, in particolare, Ra passa da 17,4 a 16,7 µm e Rz da 81,7 a 76,6 µm.

Un altro confronto è stato realizzato tra:

- Lucidatura a flusso chimico;
- Lucidatura a flusso abrasivo;
- Lucidatura a flusso chimico-abrasivo.

Sono stati monitorati i tempi impiegati dai tre processi per giungere ad un risultato più o meno soddisfacente: 8 h nel caso di lucidatura chimica statica, 3 h nel caso di lucidatura a flusso chimico e a flusso abrasivo ed 1 h per la lucidatura a flusso chimico-abrasivo.

I risultati del confronto, come illustrato in Figura 20, hanno riportato una maggiore efficienza della lucidatura a flusso chimico rispetto a quella a flusso abrasivo, in termini di riduzione della rugosità superficiale per entrambi gli orientamenti di costruzione; in aggiunta, il processo di

lucidatura più efficiente in assoluto tra i tre risulta però essere quello a flusso chimico-abrasivo, considerando sempre sia la costruzione a 15° sia quella a 135° [57].

È stata anche osservata una maggiore rimozione di materiale all'aumentare della velocità del flusso, stabilita secondo la formula:  $v = \frac{F}{A}$ , dove  $v$  (m/s) è la velocità del fluido,  $F$  (m<sup>3</sup>/s) è la portata e  $A$  (m<sup>2</sup>) area della sezione trasversale da cui passa il flusso; inoltre, più lungo è il tempo di lucidatura, meno intensa è la rimozione materiale [57]:

- 1 h → 10 μm/h
- 2 h → 5 μm/h
- 3 h → 2 μm/h

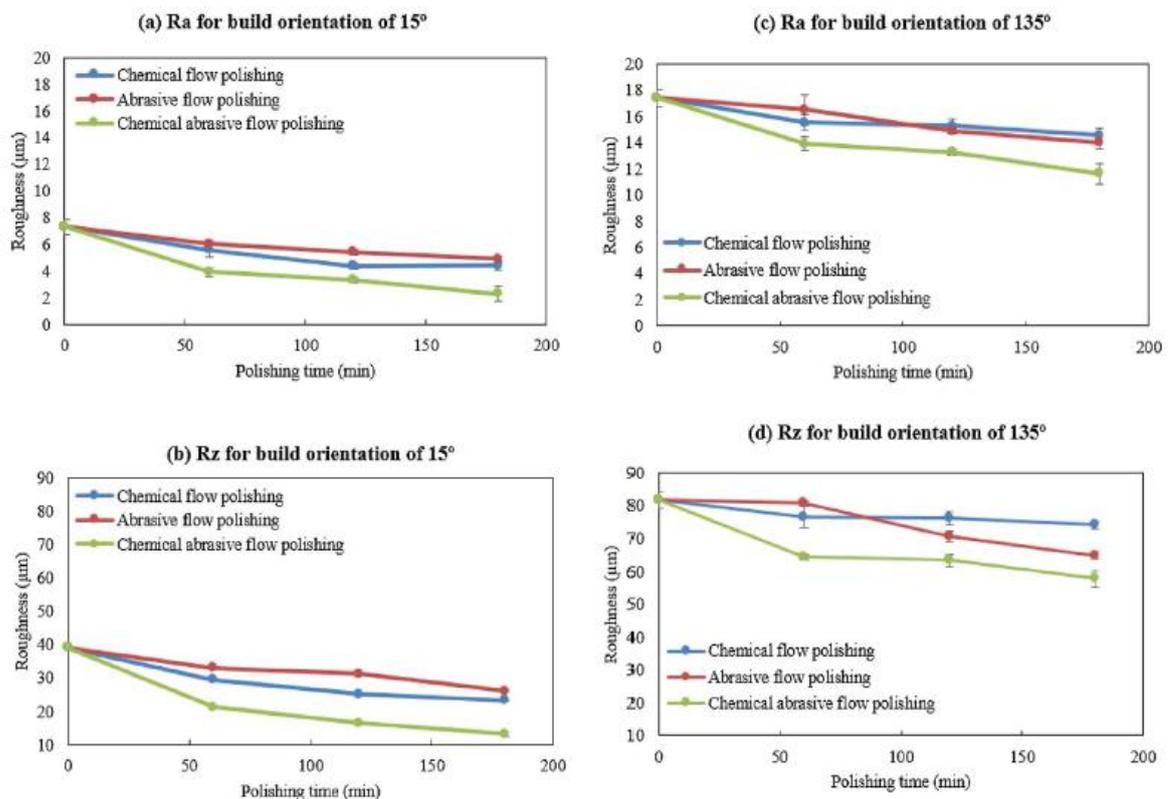


Figura 20. Andamento dell'Ra e dell'Rz rispetto al tempo impiegato dalle tre tecniche di lucidatura per i due orientamenti di costruzione (a,b) 15° e (c,d) 135° [57]

### 3.2.3 Finiture Termiche

Il raggiungimento della temperatura di fusione permette il riscaldamento delle creste del profilo superficiale fino ad arrivare alla loro deformazione.

Di seguito sono riportate le tecniche di finitura termica utilizzate per il post-trattamento di componenti.

#### 3.2.3.1 Flame Polishing

Il *flame polishing* si realizza sottoponendo i pezzi, generalmente termoplastici o vetri, ad una fiamma diretta o a calore, che fonde la superficie e livella le irregolarità relative ai valori di rugosità [62].

Questa tecnica viene adoperata per lo più nella finitura dei bordi delle lastre tagliate con sega circolare o sega a nastro; un passaggio strettamente necessario è rappresentato dalla pulizia dei

bordi, infatti qualsiasi elemento rimasto sarà molto evidente a seguito della lucidatura, in quanto, il *flame polishing* garantisce la massima trasparenza delle superfici [63].

Il processo non è complicato, ma per essere eseguito correttamente necessita di un *bunsen*, un bruciatore, caricato con ossipropano o ossiacetilene, ovvero due gas, che non rilasciando scorie, non possono avere effetti negativi sul materiale del pezzo trattato [64].

Il *bunsen* presenta una struttura che permette di modificare il flusso dell'ossigeno durante la combustione, ragion per cui si ottengono due fiamme differenti:

- la fiamma ossidante (Figura 21), raggiunge fino a circa i 1500 °C di temperatura, è poco visibile per via della combustione completa del gas miscelato con l'aria, è di colore azzurro chiaro e presenta una forma regolare; è quella più adoperata durante i processi, ma è anche quella che espone ad un maggior numero di rischi, viste le sue caratteristiche.

Questa fiamma è costituita da due zone, una a temperatura più elevata, definita esterna, e l'altra interna, a temperatura più bassa [65].

- la fiamma riducente (Figura 22), meno calda, la sua temperatura è di circa 400 °C, è abbastanza visibile, in quanto è il risultato “*della combustione incompleta del gas per chiusura o dell'afflusso d'aria*” [65].



*Figura 21. Fiamma ossidante [65]*



*Figura 22. Fiamma riducente [65]*

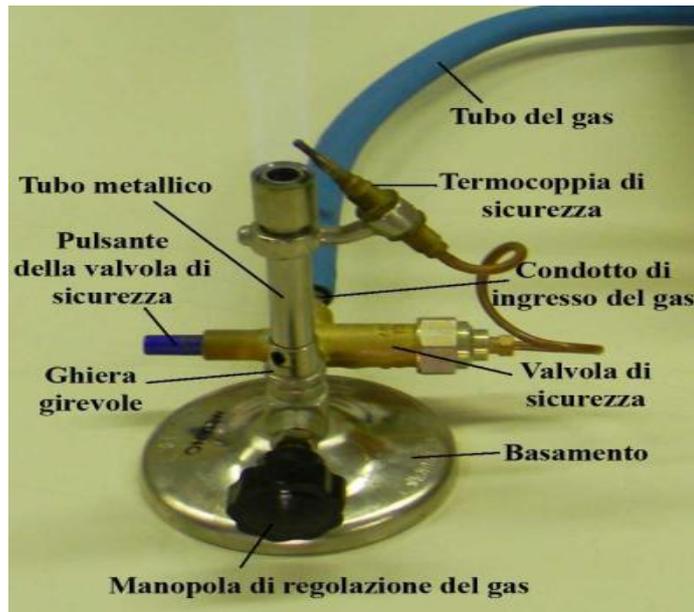


Figura 23. Strumento Bunsen con descrizione dei suoi componenti [65]

Il gas viene fatto entrare dalla base del cannello, continuando poi verso l'alto; la sua miscelazione viene regolata ruotando la ghiera (Figura 23) [65].

La fiamma si presenta stretta e colpisce direttamente la superficie da lucidare; le passate sono rapide ed eseguite a velocità costante [63].

Viste le alte temperature realizzate dalle fiamme del *bunsen*, i materiali che possono essere trattati con questa tecnica sono ovviamente solo quelli resistenti ad alte temperature [65].

La tecnica in questione è spesso preferibile alle abrasioni meccaniche per via della sua velocità di processo e dell'esauriente risultato; la bassa viscosità della materia fusa o rammollita crea la giusta tensione superficiale così da definire un valore di rugosità minimo, ogni pezzo scabro è quindi trasformato in un pezzo *high-gloss* o molto trasparente.

### 3.2.4 Le finiture meccaniche

#### 3.2.4.1 Carte abrasive

L'abrasione si verifica con l'interazione tra due componenti, che possono essere di materiale differente o uguale; in termini tecnici si tratta di sforzi di taglio tra due superfici che scorrono l'una sull'altra.

A seguito dell'attrito generato e alla pressione a cui avviene l'operazione, l'energia meccanica viene trasformata in calore, definendo microdeformazioni in superficie.

Il limite più grande di questo processo è quello di danneggiare in maniera definitiva le superfici o comunque una delle due, ovvero quella più "tenera". La carteggiatura deve essere operata con movimenti, pressioni e velocità regolari su tutta la superficie, cercando quindi di non alterare la geometria.

Le profondità, come anche i fori, rappresentano una criticità per il successo dell'operazione.

L'abrasione può essere distinta in:

- Levigatura con carta abrasiva;
- Levigatura con macchinari;
- *Abrasive flow machine*.

Nel caso di levigatura con carte abrasive, queste non definiscono tutte lo stesso risultato in termini di finitura, sul retro del foglio è infatti riportato un numero, detto grana, che rappresenta la dimensione dei frammenti vitrei presenti lungo la superficie.

Il numero riportato, è compreso tra 40 e 2500, ed è proprio sulla base del tipo di finitura che si vuole ottenere che si sceglie la carta abrasiva più adatta.

Quando si parla di sgrossatura si predilige una grana tra i 40 e gli 80, in particolare quando si lavora un materiale non tenero, dal quale si vuole ad esempio, asportare della ruggine, realizzando così un'abrasione di superficie.

Le grane tra i 100 e i 180 sono adoperate per la carteggiatura di pareti; grane ancora più grandi, fino a 400, vengono invece utilizzate per levigare superfici morbide, così da rimuovere imprecisioni di superficie, lavorare sulla rugosità e fornire maggiore brillantezza alla superficie.

Un'alternativa all'abrasione a secco è la levigatura ad acqua, che viene generalmente realizzata con carte abrasive dalla grana superiore ai 400; la differenza consiste nel fatto che i fogli di carta abrasiva vengono preventivamente immersi in acqua, così da rendere la loro applicazione, che avviene con un movimento rotatorio centrifugo, più semplice e precisa [66].

Le prime applicazioni della carta abrasiva sono state nel settore *automotive*, ed oggi trova impiego nei più svariati settori industriali, per sgrossare, levigare e lucidare superfici di differenti materiali e anche per aumentare la ruvidità della superficie stessa.

Il metodo è adatto per componenti dalle piccole dimensioni, con pochi elementi e dettagli, in altri casi il processo diventa dispendioso in termini di tempo ed è da evitare per applicazioni dove è richiesta molta precisione.

Si tratta di un processo controllabile, che permette diversi step per una variabilità del risultato, non necessita di manodopera specializzata ed il costo complessivo dell'operazione non è per niente elevato, poiché le attrezzature necessarie sono minime. [67].

#### **3.2.4.2 Abrasive Flow Machine**

L' *Abrasive Flow Machining (AFM)* non è una tecnica di finitura tradizionale e viene adoperata per migliorare i componenti generalmente utilizzati nei settori aerospaziale, automobilistico, elettronico [68].

L'AFM permette di ottenere una rugosità superficiale notevolmente migliorata, e di eliminare i difetti superficiali dovuti agli accumuli di polvere, in particolare, l'AFM permette di ottenere risultati che non si riescono ad ottenere con tecnologie di finitura convenzionali come la lucidatura manuale e la levigatura a nastro [69].

In questo processo i media abrasivi svolgono la funzione di utensili da taglio a deformazione continua, costituiti da polimero e graniglia abrasiva; la macchina adoperata è composta da un sistema idraulico, un impianto elettrico e un sistema meccanico.

Peng et al., 2018, conducono uno studio su di un pezzo in AlSi10Mg.

L'asportazione di materiale durante il processo di rifinitura è stata misurata praticando un piccolo foro sulla superficie del pezzo, così da prendere il suo fondo come riferimento, e le quantità di asportazione di materiale vengono misurate in termini di variazioni in altezza, dopo 15, 90, 390 cicli di processo AFM.

Dopo i primi 15 cicli vengono rimosse le micro-asperità formate dalle polveri metalliche non fuse correttamente; durante i 390 cicli finali, l'asportazione di materiale in prossimità del foro di riferimento avviene in maniera più uniforme, e al termine, si può misurare una rugosità di 1,8  $\mu\text{m}$  rispetto ai 13 ~ 14  $\mu\text{m}$  originari della superficie *as-built*.

Per ciò che riguarda invece le tensioni residue, si è adoperato il dispositivo di misurazione dello stress a raggi X Empireo XRD-6000, che ha permesso di analizzare: la superficie del pezzo ottenuta al termine del processo di Fabbricazione Additiva e la superficie del pezzo a seguito della rifinitura finale con AFM.

È stato così possibile esaminare e confrontare le distribuzioni di stress nello strato superficiale adoperando la medesima procedura; i risultati sono stati: tensione residua di  $49,3 \pm 3,8$  MPa sulla superficie *as-built* e di  $-30,5 \pm 7,3$  MPa sulla superficie a seguito del post trattamento [69].

Un altro studio di Williams e Melton, 1998, è stato condotto su pezzi realizzati tramite Stereolitografia (SLA – *Stereolithography Apparatus*) e rifiniti con il processo *Abrasive Flow Machining* (AFM); le analisi condotte hanno preso come riferimento diversi parametri.

I parametri del processo che si sono dimostrati più influenti sul pezzo finale sono stati: il numero di cicli, la pressione di estrusione, la composizione ed il tipo di grana, le proprietà del materiale trattato e l'attrezzatura.

Secondo quanto riportato da Williams e Melton, 1998, tramite il microscopio elettronico a scansione (SEM) è stato possibile osservare come l'effetto *stair-stepping*, presente nei pezzi *as-built*, viste le caratteristiche del processo dove la costruzione è realizzata per strati, dando origine a superfici a gradini che necessitano di post-trattamento, sia invece assente a seguito dell'AFM, come emerso anche dall'analisi *data dependent systems* (DDS).

Questi effetti scompaiono a seguito di uno o due cicli del processo di finitura, in base alla pressione applicata al materiale e alla dimensione del media abrasivo; anche la rugosità media riporta valori finali decisamente migliori con un solo ciclo di AFM.

Al termine del post-trattamento sono state osservate con attenzione le immagini catturate dal SEM, che non ha evidenziato la presenza di linee di flusso ma una frattura leggera sulla superficie lavorata.

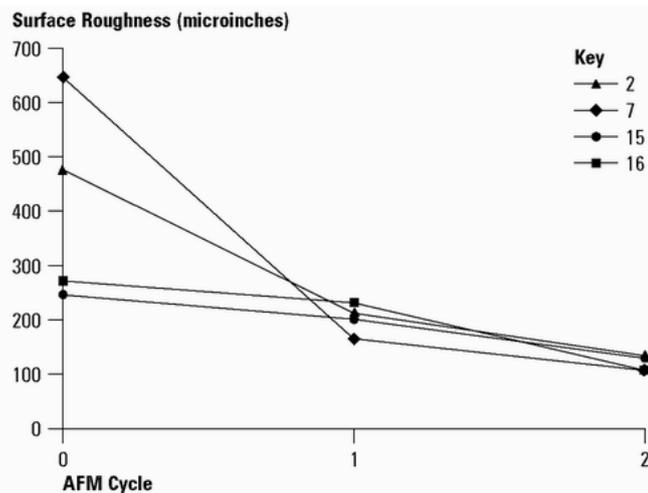


Figura 24. Andamento della rugosità superficiale durante il processo AFM [68]

Come illustrato in Figura 24, i miglioramenti in termini di rugosità superficiali sono evidenti già a seguito del primo ciclo di AFM, durante il quale vengono rimossi i picchi di superficie, infatti le modifiche al secondo ciclo possono essere definite non statisticamente rilevanti [68].

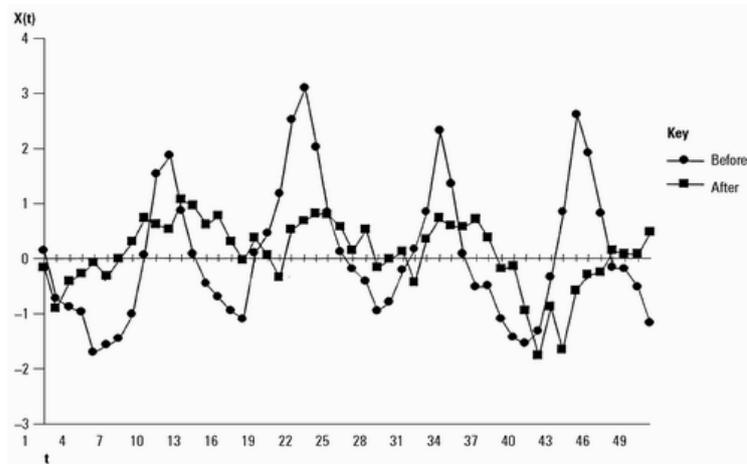


Figura 25. Profilo superficiale del pezzo prima e dopo i due cicli del processo AFM [68]

### 3.2.4.3 Burattatura

La burattatura viene realizzata adoperando una macchina, detta buratto, costituita da un contenitore che viene fatto muovere tramite rotazione semplice, o rotazione combinata o vibrazione; a seguito di ciò si individuano: i buratti a barile ad asse orizzontale o inclinato, i buratti a barile ad azione centrifuga (rotazioni combinate), buratti magnetici e la vibrofinitura. I pezzi, insieme ad elementi abrasivi, additivi lubrificanti ed ausiliari anti-impaccamento, si muovono o vibrano all'interno del contenitore, permettendo così la loro stessa finitura.

La finitura per burattatura prevede un'altra distinzione, che dipende dal fissaggio del pezzo nel buratto; il componente infatti può trovarsi libero di muoversi all'interno del barile oppure essere montato su dei perni (*spindles*) che ruotano in verso opposto a quello del flusso dei mezzi. In questo modo i pezzi non entrano in contatto tra loro, la lavorazione viene accelerata, ma sono necessari più tempi e costi per il fissaggio delle parti.



Figura 26. Tipi diversi di burattatura rispetto al fissaggio del pezzo [70]

Come evidenziato nello studio di Barletta et al., 2014, il *drag finishing*, che prevede il fissaggio del pezzo su dei mandrini, riporta risultati più soddisfacenti della finitura centrifuga dove le parti sono libere di muoversi all'interno del contenitore.

Il confronto tra i due processi viene realizzato considerando lo stesso tipo di abrasivo (granuli di gusci di noce) che rifinisce anelli di ottone, analizzando le modifiche morfologiche e visive sul pezzo.

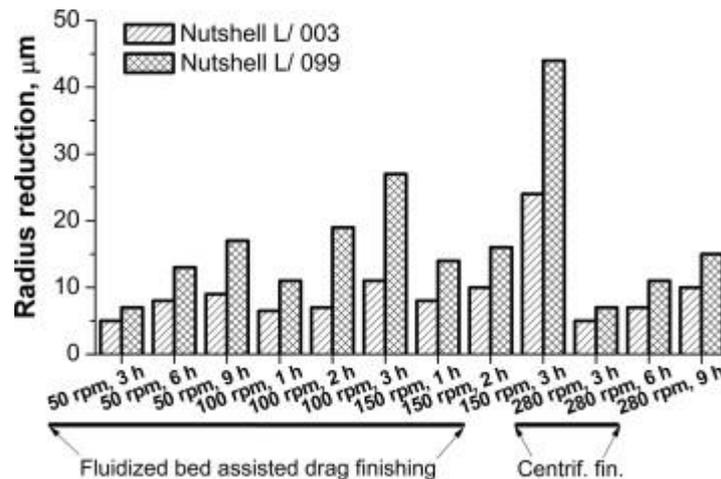


Figura 27. Analisi del cambiamento dimensionale dopo drag finishing e dopo finitura centrifuga: riduzione del raggio esterno del pezzo variando i parametri operativi [71]

Il *drag finishing* risulta più efficiente rispetto alla lavorazione tradizionale di finitura centrifuga, poiché il mezzo abrasivo deve realizzare una minore opposizione nei confronti del pezzo in movimento, così da ridurre l'energia necessaria per ottenere una soddisfacente finitura superficiale.

Inoltre, a causa di questa debole opposizione è possibile che si realizzi una sovra-finitura, dannosa per le parti lavorate.

La finitura centrifuga risulta più lenta, più facile da controllare e porta a modifiche dimensionali limitate.

Migliori risultati, evidenti sia per quanto riguarda la qualità finale e sia per la riduzione dei tempi di finitura, portano a concludere che il processo di *drag finishing* sia preferibile a quello convenzionale di finitura centrifuga, tenendo conto anche del minor fabbisogno energetico richiesto, l'assenza di residui al termine della lavorazione e la maggiore rapidità con cui le operazioni possono essere svolte; allo stesso tempo però, la finitura centrifuga è preferibile quando si vuole ottenere una minore finitura e serrate tolleranze dimensionali [71].

In altre operazioni, come quella della levigatura delle pietre, si parla di buratti per auto burattatura, in questo caso gli impatti avvengono tra gli oggetti stessi e non tra gli oggetti e gli abrasivi.

Il processo viene generalmente adoperato per realizzare operazioni di:

- Sbavatura e sgrossatura;
- Formatura e arrotondamento;
- Levigatura;
- Lucidatura;
- Pulizia.

Come riportato da DeGarmo et al., 2003, i pezzi che vengono lavorati dal buratto possono essere molto piccoli (millimetri), piccoli (centimetri) e di dimensione media (decina di centimetri), si tratta di pezzi meccanici di materiale metallico, pezzi di oreficeria/orologeria, pietre preziose o per utilizzo architettonico, resine e plastiche (settore moda e bigotteria), prodotti del settore alimentare (i confetti e il cioccolato vengono trattati con la burattatura) [72].

La scelta dell'abrasivo da utilizzare ricade sulla sua composizione, determinante per l'effetto finale, sulla sua forma che influenza quella dei pezzi che devono essere trattati e definisce il tipo di finitura: più aggressiva con abrasivi appuntiti e spigolosi, delicata con media arrotondati; sulla sua dimensione, media più grandi definiscono maggiore abrasività, al contrario, abrasivi più piccoli e leggeri, hanno un effetto inferiore in termini di levigatura. La giusta scelta permette di ottenere una finitura uniforme.

Una volta concluso il processo di finitura, segue la fase di *screening* o setacciatura, durante la quale gli abrasivi vengono separati dalle parti; questo metodo di separazione però, può essere operato solo se i media hanno dimensione inferiore rispetto a quella dei pezzi trattati, si parla invece di, separazione inversa quando l'abrasivo è più grande del pezzo; nel caso di pezzi ferrosi la separazione può avvenire magneticamente.

Nel processo di finitura si utilizzano spesso dei prodotti chimici, indispensabili per riuscire ad ottenere un'ottima finitura e con l'obiettivo principale di mantenere pulite le superfici degli abrasivi. Il composto si sceglie sulla base del tipo di materiale di cui è fatto il pezzo, e dal tipo di finitura che si intende raggiungere; in genere si adoperano prodotti liquidi, mentre composti in polvere sono adoperati per usi speciali.

Gli ausiliari anti-impaccamento sono delle sfere che servono ad evitare che componenti di forma piatta aderiscano tra loro e non permettano una finitura uniforme [73].



*Figura 28. Soluzione di acqua, sapone con abrasivo polvere di corindone*

Per capire qual è la quantità di abrasivi da inserire nel buratto rispetto al numero di pezzi da lavorare si svolgono delle proporzioni, inoltre il numero di pezzi che possono essere burattati insieme dipende dalla dimensione della macchina e dalle caratteristiche della parte stessa che si intende trattare; se il numero di pezzi è troppo grande rispetto agli altri componenti e alle dimensioni del buratto, il risultato che si ottiene non è soddisfacente, nel caso opposto invece, si avrà un tempo di ciclo elevato [72].

#### Buratti a barile ad asse orizzontale o inclinato

In questo caso, il contenitore del buratto è un barile, che può essere esagonale, cilindrico o ottagonale, esso, effettua rotazioni attorno ad un asse orizzontale o inclinato leggermente, sulla base che si voglia ottenere un moto semplice o complesso degli abrasivi.

È possibile, che la macchina al suo interno sia provvista di pale, generalmente in gomma, che girando, catturano e sollevano le parti; questo provocherebbe la caduta dei pezzi, e il conseguente impatto genera la loro levigatura e lucidatura.

La velocità di rotazione del barile è una variabile rilevante per i buratti ad asse orizzontale, velocità troppo elevata potrebbero generare impatti troppo violenti sui pezzi, viceversa basse velocità potrebbero generare risultati non soddisfacenti. Il valore più adatto, è in genere stabilito

in base alle caratteristiche delle parti trattate e alla dimensione della macchina; velocità basse sono stabilite per pezzi grandi e delicati, valori un po' più alti sono invece impiegati nel caso di buratti dal diametro minore e quando la finitura superficiale non è molto rilevante. Anche la scelta della dimensione dell'abrasivo è molto importante nel caso di burattatura ad asse orizzontale [74] [75].

#### Buratti a barile ad azione centrifuga (rotazioni combinate)

Questo tipo di burattatura è simile a quella ad asse orizzontale, la differenza risiede nella velocità di rotazione che è molto più elevata; i barili, esagonali o ottagonali, sono di piccole dimensioni.

#### Buratti magnetici

I buratti magnetici vengono impiegati per operazioni di finitura di oggetti preziosi e piccoli componenti ferrosi, servendosi di un campo magnetico generato da corrente elettrica; questo fa muovere energicamente gli inserti metallici, si parla di micromartellamento, che vanno a colpire i pezzi da lavorare.

I contenitori adoperati sono di piccole dimensioni, per questa ragione, insieme al fatto che non si generano vibrazioni, rumori e polveri, la burattatura con il buratto magnetico può essere operata in qualsiasi ambiente [74].



*Figura 29. Buratto magnetico*

#### Vibrofinitura

La vibrofinitura è molto simile alla burattatura, la differenza risiede nel fatto che l'abrasione si ottiene da un moto vibrante e non da un movimento di rotazione.

I macchinari impiegati sono di grandi dimensioni e piuttosto rumorosi, il loro costo, dipende soprattutto dalla dimensione della macchina.

Anche in questo caso la finitura viene realizzata a seguito del continuo strofinamento tra i pezzi e il materiale abrasivo, insieme al detergente chimico introdotto nel vibrofinitore.

Si predilige la vibrofinitura alla burattatura nei casi in cui si voglia attuare un'abrasione più gentile, ecco perché poco utile nei casi di sgrossatura e finitura di pezzi piuttosto grezzi [76] [77].



*Figura 30. Vibratore industriale*

È stato condotto un esperimento su parti ottenute con tecnica *Fused Deposition Modelling* (FDM), che imita a livello casalingo la burattatura ad asse orizzontale; è stato messo all'interno di una lavatrice un barattolo riempito per metà dai pezzi e per l'altra metà da abrasivi ceramici, e sottoposto alla centrifuga.

Il risultato ha permesso di asserire che la burattatura è un processo idoneo nel caso si voglia ottenere un pezzo che deve essere afferrato per il suo utilizzo, in quanto gli abrasivi arrotondano gli spigoli facendo ottenere un buon raccordo per un'impugnatura più facilitata; al contrario non è un processo consigliato se si desidera conservare totalmente la geometria originaria dell'oggetto [78].

Si può concludere dicendo che la burattatura è un processo dal costo piuttosto basso che prevede poco lavoro da parte della manodopera e un'assistenza pari a zero.

Il macchinario è molto semplice e quindi affidabile, non ha un impatto negativo né sull'uomo né sull'ambiente, possono essere lavorate più parti allo stesso tempo ed esistono più tipi di abrasivi e composti che possono essere scelti in base al caso specifico.

I limiti di questa procedura risiedono nella difficoltà di evitare che parti del pezzo non vengano lavorate, molto probabile, come già evidenziato, che si verifichi la deformazione della geometria iniziale e che non si riesca ad agire su cavità e profondità; spesso i tempi di ciclo sono inoltre piuttosto lunghi e la rumorosità del macchinario non è un tratto trascurabile.

#### **3.2.4.4 Sabbiatura e Pallinatura**

La sabbiatura e la pallinatura, classificati come processi di finitura meccanica, permettono di incidere la superficie o asportare le incrostazioni, ruggine senza causare alcun danno.

Anche per questi processi la bontà del risultato dipende dalla scelta corretta del materiale e della granulometria dell'abrasivo che viene adoperato [79].

I due processi si differenziano solo per la forma di materiale abrasivo: nel caso della pallinatura si adoperano microsfele di vetro, di ceramica, di plastica o d'acciaio, mentre per la sabbiatura si utilizzano abrasivi dalla forma più irregolare, per l'appunto sabbia, ossido di alluminio, ecc [79] [86].

La graniglia della sabbiatura, può essere più o meno dura, in base alla durezza della superficie da trattare; anche le dimensioni, la massima è compresa tra 1 mm e 0,250 mm, dipendono dal risultato che si vuole ottenere, con granelli di dimensioni più grandi, la forza dell'impatto tra questi e l'oggetto sarà maggiore, per cui si predilige una graniglia più grande quando si devono togliere via strati di materiali su pezzi duri.

La sabbiatura viene adoperata per processi di sbavatura, per la pulizia e la finitura superficiale, soprattutto per materiali come metalli e leghe; il pezzo prima di essere trattato non necessita di alcuna preparazione, l'unica cosa veramente necessaria è fissare il pezzo adeguatamente per evitare il suo spostamento quando colpito dal getto.

È doveroso precisare, che nella maggior parte degli impieghi meccanici, la sabbiatura non viene quasi mai realizzata come processo finale, bensì come operazione intermedia, così da rendere il prodotto omogeneo e pronto per le successive operazioni di verniciatura [80].

Esistono tre tipi di sabbiatura:

1. Sabbiatura a secco: si colpisce la superficie che dev'essere trattata con del materiale abrasivo ad alta velocità; viene adoperata per lo più nel settore edile, è considerato il metodo più veloce tra i tre, ma è consigliato quando le polveri che si generano non creano danni a terzi, perché provvisti di adeguate protezioni.
2. Idrosabbiatura: si colpisce la superficie che dev'essere trattata con una miscela di acqua e sabbia.
3. Sabbiatura con umidificatore: si colpisce la superficie da trattare con acqua e sabbia, ma le due vengono fornite attraverso due impianti separati.

Questo metodo, come anche l'idrosabbiatura, è consigliato quando non è possibile realizzare il processo in luogo aperto o in una cabina di sabbiatura (possibile solo nel caso di pezzi di piccole dimensioni), poiché permette di eliminare le polveri che si generano durante la lavorazione.

La sabbiatura con umidificatore, come già precisato, è molto simile all'idrosabbiatura anche da un punto di vista dei risultati, ma la presenza dell'umidificatore crea della fanghiglia e in alcuni casi non porta alla totale eliminazione delle polveri, di contro, l'idrosabbiatura adopera molta acqua ed è meno efficace della sabbiatura a secco, poiché l'abrasione avviene in maniera più gentile per via dell'acqua [81] [82].

La sabbiatura può essere realizzata secondo tre stati di lavorazione [80]:

1. SA 2 o spolverata: la superficie non presenta residui estranei ma non è di colore uniforme;
2. SA 2 ½ o commerciale: la superficie si presenta pulita e di colore uniforme;
3. SA 3 o incisione: la superficie è completamente pulita e presenta incisioni di colore uniforme.

Il getto di sabbia è prodotto grazie alla presenza di tre componenti: il compressore, la sabbiatrice e l'ugello (o pistola).

- Il compressore è una macchina utilizzata per comprimere l'aria nel serbatoio dal quale si ottiene il getto d'aria; è costituito dal compressore, dal serbatoio e da un motore, che può essere elettrico se l'impianto è piccolo di dimensione, o a combustione interna [80].

- La sabbiatrice ha il ruolo principale di miscelare la sabbia con il getto d'aria proveniente dal compressore, regolandone le porzioni; è composta dal serbatoio e dal circuito di comando.

All'interno del serbatoio si deposita la sabbia che dev'essere miscelata, al suo fondo è posta una bocca di miscelazione, costituita da una valvola che misura la corretta quantità di sabbia da miscelare con il getto d'acqua e che quindi a seguito, scorre a valle della stessa.

Il circuito di comando invece, serve per impostare l'apertura o la chiusura della fuoriuscita di aria e sabbia in pressione [80].

- L'ugello o la pistola ha il compito di direzionare correttamente il getto sulle zone dove deve avvenire la finitura.

Un ugello di piccole dimensioni consente di mirare con maggiore precisione il getto su una superficie piccola, aumentando l'effetto finale della sabbiatura; un ugello più grande invece, viene scelto quando il pezzo da trattare è piuttosto delicato e subirebbe danneggiamenti da parte di un getto troppo concentrato (è il caso della plastica, del legno e dei tessuti) [80].

Il grande contro di questo post-trattamento è la sua pericolosità, se il getto d'aria e sabbia raggiungesse parti del corpo scoperte, questo potrebbe incidere e lesionare la pelle, il frammento potrebbe entrarvi all'interno provocando dolore e infezioni.

In aggiunta, durante il processo si genera molta polvere che potrebbe danneggiare l'apparato respiratorio; un operatore infatti si trova a respirare le polveri che si generano dall'abrasione e quelle relative alla sabbia stessa. Tutta questa polvere, nella maggior parte dei casi, impedisce all'operatore anche di vedere il pezzo sottoposto alla finitura [83].

D'altro canto, la sabbiatura è una lavorazione rapida che consente di operare a velocità piuttosto elevate; il valore scelto dipende al solito, come visto anche per gli altri processi, dalla durezza e dallo spessore dello strato da eliminare, ecco perché prima di applicare questa tecnica si fanno delle scelte che riguardano l'ugello e/o la graniglia da utilizzare [80].

Per ovviare ai limiti della sabbiatura, un buon compromesso è rappresentato dal *Micro Abrasive Blastin*, ovvero la micro-sabbiatura, di cui se ne discute anche nell'articolo scientifico di Fai et al., 1998; il processo è caratterizzato da un minor rischio di danneggiamento, permette risultati molto buoni in termini di finitura superficiale, maggiore efficienza dal punto di vista di tempo di esecuzione e maggiore precisione, grazie alle dimensioni ridotte del macchinario che permette di lavorare il pezzo non con una pistola ma con una penna piuttosto piccola, così da trattare l'oggetto anche nei punti più difficili.

Il processo viene svolto utilizzando una valvola per l'aria e per la regolazione della pressione, un filtro, un dispositivo per miscelare l'abrasivo, una "penna", con la quale lavorare direttamente il pezzo, un manometro ed uno strumento; la micro-sabbiatura funziona secondo lo stesso principio della sabbiatura, le particelle che vanno a colpire il pezzo per rifinirlo hanno però dimensione pari a 27 micron [84] [85].

La pallinatura come già anticipato è molto simile alla sabbiatura, la differenza risiede nel materiale di cui è costituita la graniglia; si può trattare di perline di plastica, anche riciclata, di vetro, ceramica o acciaio.

Le perline in plastica, rispetto a quelle in vetro, hanno una durata più lunga e si possono trovare sia con caratteristiche abrasive forti che delicate.

La pallinatura inoltre, rispetto alla sabbiatura riesce più facilmente a mantenere la qualità originaria del pezzo, senza apportare cambiamenti a livello dimensionale [86].

#### **3.2.4.5 Abrasive Fluidized Bed (AFB)**

L' *Abrasive Fluidized Bed* (AFB) è un processo di finitura meccanica introdotto nello studio di Atzeni et al., 2016, per la finitura di substrati in AlSi10Mg realizzati con l'approccio di lavorazione *Direct Metal Laser Sintering* (DMLS) [32].

Del fluido abrasivo circonda il pezzo indipendentemente dalla sua geometria, realizzando una finitura per lo più definita da micro solcature/ micro tagli e meccanismi di micro affaticamento/ micro rotture.

La lavorazione viene realizzata facendo ruotare ad alta velocità i substrati all'interno di un letto fluido di abrasivi, così da analizzare l'interazione tra l'abrasivo e i substrati in AlSi10Mg, ed individuare l'influenza del tipo di abrasivo e della velocità di rotazione sul risultato della finitura. Per questa ragione infatti sono stati presi in considerazione tre tipi di abrasivi:

1. Tipo G, pallino sferico in acciaio inossidabile ad alto tenore di carbonio (durezza Rockwell C, 45-52);
2. Tipo S, maglia in graniglia d'acciaio (durezza Rockwell C, 64);

3. Filo tagliato, filo di *pellet* tagliato a forma di bastoncino da 1 mm.

La velocità è stata settata a: 1. 10 Hz, 2. 15 Hz, 3. 20 Hz.

Per le valutazioni sono state considerati i seguenti parametri:

1. Rugosità media Ra;
2. ISO 10 Rz, misura l'ampiezza del profilo di rugosità;
3. Rsm, misura la lunghezza del profilo di rugosità;
4. RΔq, RSk, RKu, rappresentano la pendenza media del profilo di rugosità e per la sua distribuzione e simmetria attorno alla linea centrale.

Al termine del processo si misura un valore di rugosità media pari a  $Ra \sim 1,5 \mu\text{m}$  ed è possibile valutare come le caratteristiche geometriche dell'abrasivo influiscono sulla morfologia finale del pezzo: l'abrasivo di Tipo G, che agisce sia con le micro solcature sia con il meccanismo del micro taglio, porta ad una maggiore rimozione di materiale, rispetto all'abrasivo di Tipo S che agisce soltanto con meccanismi di micro solcatura. Maggiore è la velocità di rotazione del pezzo più efficace sarà il processo di finitura AFB, poiché sarà possibile la rimozione dei più grandi agglomerati di polveri semi-fuse presenti nella morfologia iniziale dei substrati; allo stesso tempo però, gli impatti degli abrasivi a velocità elevate causano piccoli graffi, definendo nuove caratteristiche morfologiche che si riflettono anche sul valore di alcuni dei parametri di rugosità considerati.

È emerso inoltre che, a seguito di cicli di finitura brevi, i substrati sono caratterizzati da una superficie liscia, mentre i bordi, subiscono solo leggermente gli effetti abrasivi, a tal proposito la loro finitura potrebbe verificarsi più facilmente adoperando l'abrasivo di Tipo G o a Filo Tagliato. L'abrasivo di Tipo S al contrario, tende a mantenere la forma iniziale dei bordi del pezzo, agendo senza il meccanismo del micro taglio.

Si tratta di una tecnologia comunque molto costosa, caratterizzata da un setup rigido che dipende dalle geometrie del pezzo, ed un altro limite è rappresentato dalla scarsa varietà di materiali che possono essere trattati con questa tecnica.

In conclusione però, è possibile affermare che il processo AFB può essere considerato una valida alternativa per una finitura sostenibile a basso consumo di tempo, di parti metalliche realizzate con tecniche di Fabbricazione Additiva [32].

#### **3.2.4.6 Ultrasonic Cavitation Abrasive Finishing**

L'*Ultrasonic Cavitation Abrasive Finishing* (UCAF) è un post-trattamento basato sugli effetti della cavitazione ultrasonica a cui si aggiungono delle micro particelle abrasive. Nell'articolo di Tan, Yeo, 2017, si studia tale processo su campioni in Inconel 625, realizzati con la tecnica di Fabbricazione Additiva DMLS, che vengono analizzati all'inizio e al termine dell'esperimento [87].

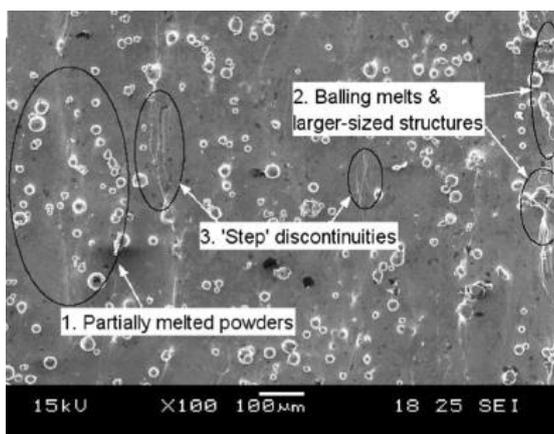
Le onde ultrasoniche viaggiano ad una frequenza di 20 kHz e sono ottenute dal generatore Q700, Qsonica Llc. I campioni in esame sono immersi all'interno di un recipiente pieno di liquame abrasivo, costituito da micro particelle di SiC in acqua deionizzata.

In particolare, nel seguente studio, si effettua un confronto tra il risultato ottenuto con e senza l'aggiunta di micro abrasivi: in quest'ultimo caso, si hanno quindi gli effetti di cavitazione pura, e si può così effettivamente valutare, l'impatto dei micro abrasivi sul processo.

Durante il processo l'abrasivo ricircola di continuo attraverso una pompa peristaltica, così da giungere costantemente alla zona di finitura. Quasi al termine del processo, i pezzi vengono trattati per 15 minuti con il pulitore ultrasonico così da eliminare le particelle abrasive rimaste sulla superficie.

Nella Figura 31 sono illustrate le caratteristiche superficiali dei pezzi ottenuti con la tecnica DMLS; si possono individuare 3 tipologie di irregolarità lungo queste superfici:

1. Sulla superficie vengono individuate molte particelle, di forma quasi sferica; si tratta di polvere parzialmente fusa.
2. Diverse irregolarità, come picchi di grande dimensione, sono rintracciate lungo la superficie; la causa principale è da attribuire alla presenza notevole delle particelle di polvere parzialmente fuse o al fenomeno del *balling*;
3. Si osservano delle discontinuità tra strati vicini, causa dell'elevato valore di rugosità iniziale della superficie.



*Figura 31. Caratteristiche superficiali dei componenti in Inconel 625 ottenuti con la tecnica di Fabbricazione Additiva DMLS [87]*

Il principale risultato dell'UCAF è la totale rimozione della polvere semi fusa dalla superficie, lasciando un piano senza alcun segno visibile; d'altro canto però le particelle più grandi e le parti di superficie più irregolari sono state più difficili da eliminare.

In definitiva comunque, il risultato della finitura è quello di una superficie piuttosto liscia.

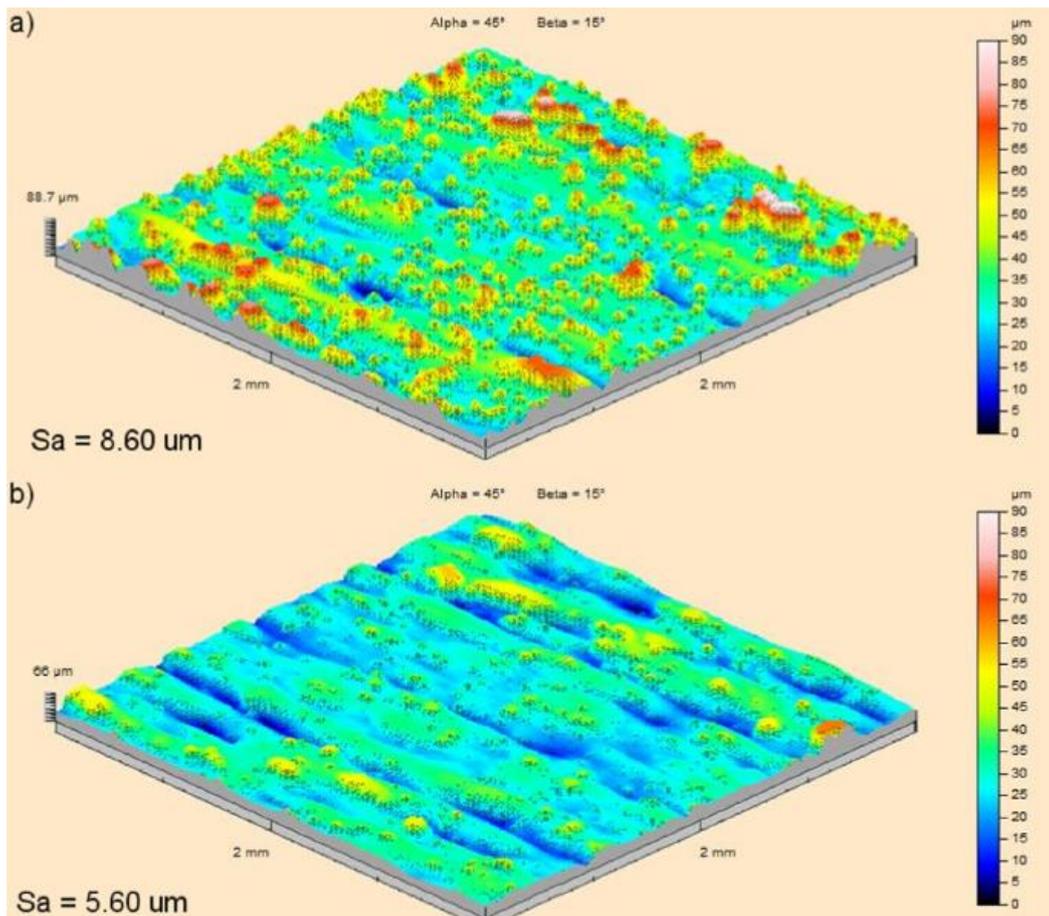


Figura 32. a. Superficie del campione realizzato con DMLS. b. Superficie del campione dopo 30 minuti dell'UCAF [87]

I risultati dimostrano come, indipendentemente dall'aggiunta o meno delle particelle abrasive, la maggior parte delle polveri parzialmente fuse vengono rimosse, per cui, la loro eliminazione è considerata una conseguenza base della cavitazione pura.

Le superfici ruvide sono caratterizzate da molte cavità che potrebbero intrappolare gas ed agire come luogo di generazione di bolle che a seguito collassano (senza micro abrasivi); l'onda d'urto che si genera a seguito di questo collasso, porta all'accelerazione dei micro abrasivi, quando utilizzati, che permettono la graduale erosione dei picchi presenti sulla superficie e di rendere più omogenei i siti soggetti alla rimozione della polvere.

I principali miglioramenti si osservano durante i primi 5 minuti, per poi diminuire sempre più man mano che il tempo scorre.

Tuttavia, valori migliori di rugosità si evidenziano anche dopo 10 minuti di processo UCAF con micro abrasivi, al contrario invece nel caso in cui non vengano adoperati.

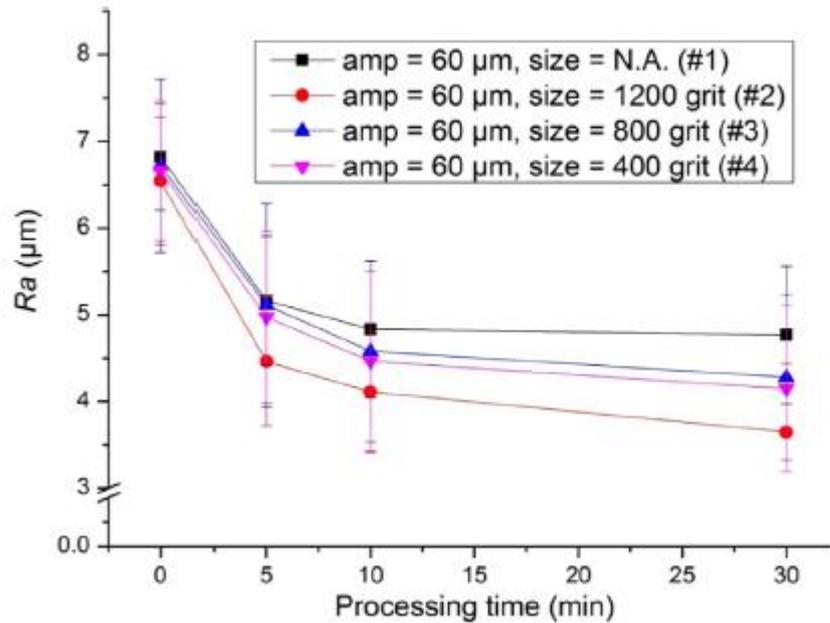


Figura 33. Andamento dell'*Ra* durante il processo [87]

Più nel dettaglio, come illustrato in Figura 33, i valori iniziali di *Ra* corrispondono a 6,5 – 7,5 µm, e già dopo i primi 5 minuti si osserva un miglioramento notevole della stessa.

Il valore finale migliore è rintracciato sul campione n°2 con *Ra* = 3,65 µm.

Si ottiene comunque un miglioramento ancora più evidente della rugosità con l'aggiunta dei micro abrasivi, osservando infatti un perfezionamento pari al 44,3% (%*Ra*).

Per concludere quindi, si può asserire che il meccanismo 1 permette di rimuovere la maggior parte del materiale in maniera efficiente, portando perciò ad un miglioramento sostanziale della rugosità; il meccanismo 2, garantisce inoltre, l'omogeneizzazione della superficie ed un miglioramento ulteriore della rugosità.

Nel caso in cui sia richiesta un'alta precisione in termini di finitura superficiale, il processo UCAF verrebbe utilizzato per il solo miglioramento della rugosità superficiale, ma necessiterebbe di essere seguito da operazioni di finitura finali.

I diversi esiti, hanno dimostrato che il processo in esame si distingue dagli altri post trattamenti di finitura riuscendo a rimuovere le irregolarità superficiali in maniera efficiente, senza modificare troppo le superfici originarie ottenute con la tecnica di *Additive Manufacturing* DMLS [87].

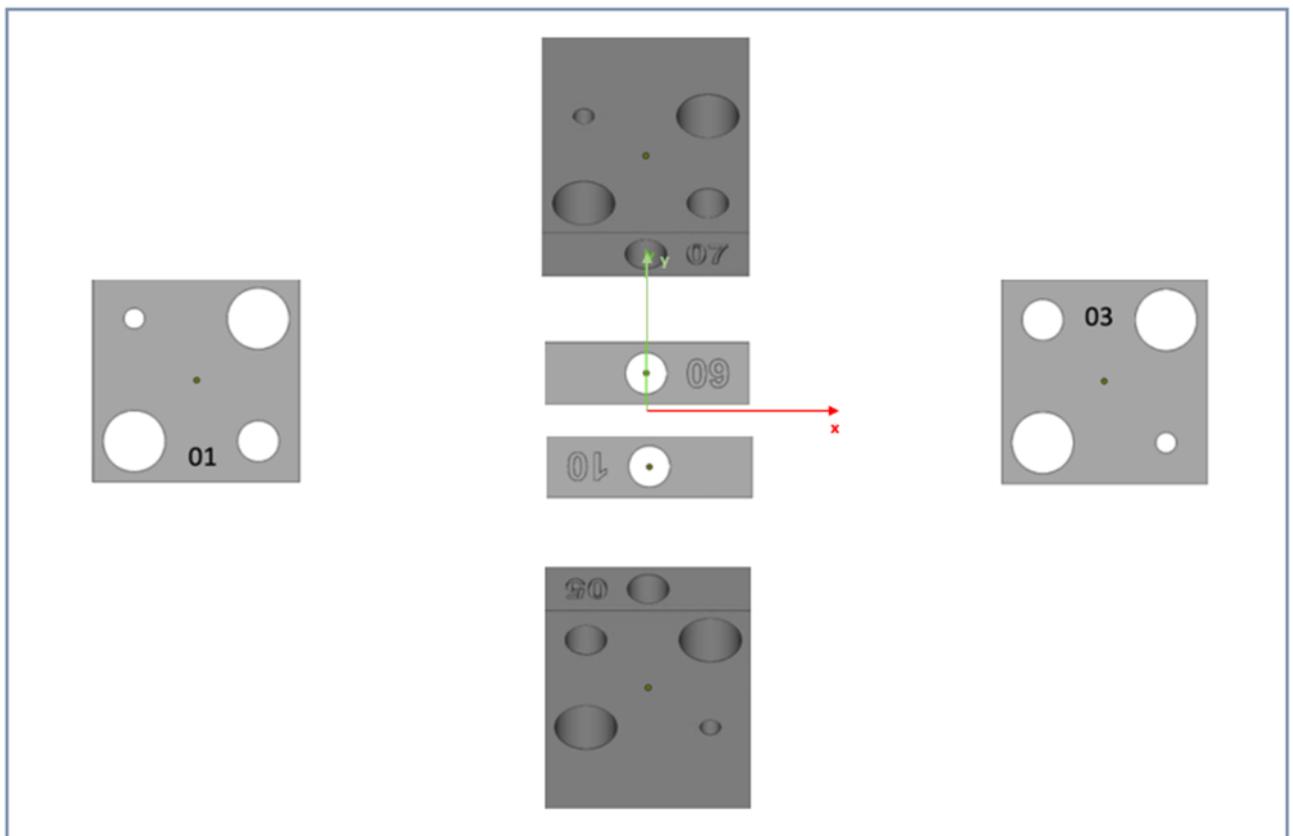
## 4. Caso studio

### 4.1 I campioni

I componenti oggetto di questo lavoro di tesi, sono sei campioni in Ti-6Al-4V, realizzati con la tecnica di Fabbricazione Additiva EBM. La macchina utilizzata è la Arcam A2X, il cui massimo volume di lavoro è  $200 \times 200 \times 380 \text{ mm}^3$ . Ciascun componente presenta la forma di un parallelepipedo (le cui dimensioni sono riportate in allegato), nonché cinque fori passanti. Lo spessore del *layer* scelto per la loro produzione è stato impostato a 0,05 mm e la temperatura della camera ha raggiunto temperature comprese nel *range* di 548-634°C.

In Figura 34 è possibile apprezzare la collocazione spaziale dei campioni all'interno della camera di lavoro. Questi sono stati realizzati con diversi orientamenti rispetto all'asse Z. In particolare:

- i campioni 01 e 03 sono cresciuti orizzontalmente;
- i campioni 05 e 07 sono stati costruiti a 45°;
- i campioni 09 e 10 sono cresciuti verticalmente.



*Figura 34. Collocazione dei campioni sulla tavola di costruzione*

A seguito della loro produzione, sono stati svolti: il processo di taglio con il processo WEDM, per l'eliminazione dei supporti, ed il processo di finitura (cfr. Paragrafi 4.4.1.3 e 4.4.1.4).

## 4.2 Macchina a misure coordinate (CMM)

La macchina a misure coordinate (CMM) (Figura 35) viene utilizzata per ottenere i valori delle dimensioni principali dei sei campioni (diametro dei fori, cilindricità degli stessi e dimensioni dei parallelepipedi), utilizzata prima e dopo la loro finitura, così da valutare l'entità dello scostamento calcolato tra le dimensioni effettive del componente e quelle nominali.



*Figura 35. Macchina a misura coordinate (CMM)*

La macchina a misura coordinate è provvista di una testa a scansione che termina con un tastatore a contatto (SP600) (Figura 37); il tastatore è composto da uno stelo con una punta sferica in rubino il cui diametro ha una dimensione nominale di 2 mm. La testa a scansione potrebbe dare la possibilità al tastatore di muoversi in maniera continua lungo la superficie evitando di alzarsi e abbassarsi per ogni punto rilevato, ottenendo così il profilo percorso. Nel caso trattato però, ciò che serve rilevare solo le coordinate puntuali di alcuni punti lungo la superficie, per cui il movimento del rilevatore non sarà un movimento continuo. Prima di iniziare con il rilevamento dei punti che giacciono sul pezzo in esame, si effettua la calibrazione del tastatore, possibile grazie allo strumento presente a destra, la sfera di riferimento (Figura 36); quest'operazione si effettua all'accensione della macchina.

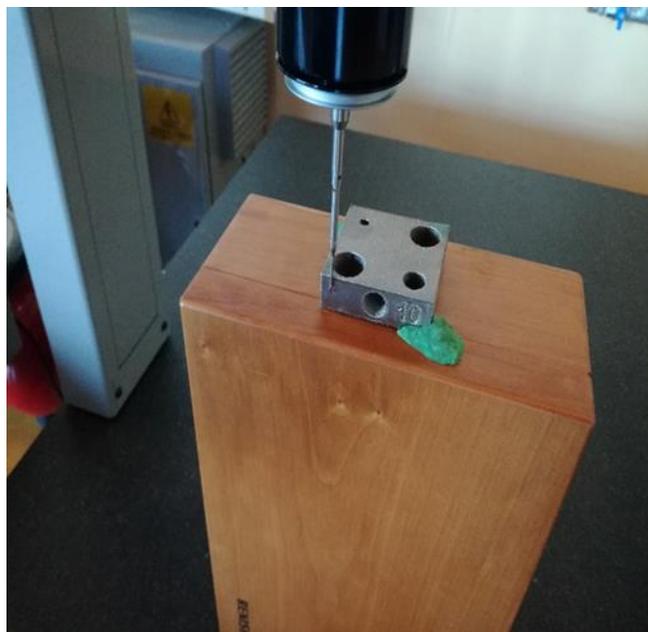
Si inserisce nel software la misura della sfera di riferimento in alto, per poi procedere alla misurazione della dimensione della sfera in rubino presente sul tastatore:

- il tastatore viene fatto muovere fino ad individuare un punto posto sulla sommità della sfera di riferimento;

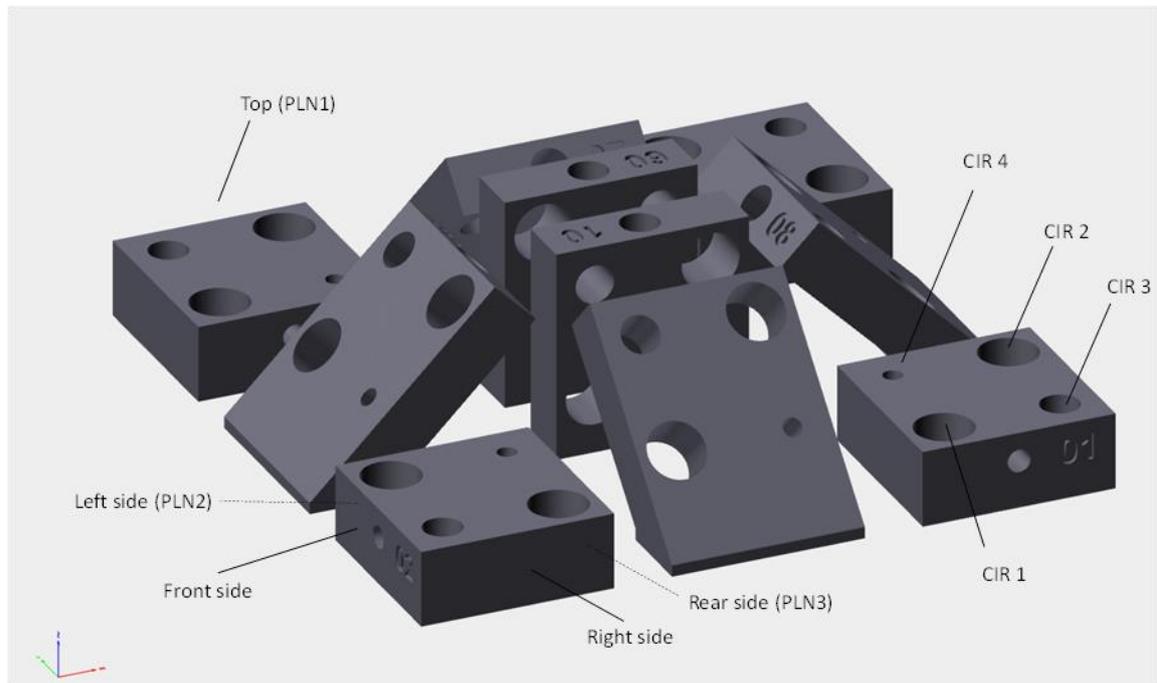
- il tastatore, avvalendosi del fatto che il sistema di controllo della CMM conosce il diametro della sfera di riferimento, la tocca più volte così da riuscire a definire la misura di  $D1 = D + d$  dove,  $D$  è il diametro della sfera, mentre  $d$  è il suo diametro, che è riuscito a stabilire proprio grazie alla calibrazione.



*Figura 36. Sfera di riferimento per la calibrazione del tastatore*



*Figura 37. Tastatore della macchina CMM e campione 10*



**Figura 38. Denominazione delle facce e delle circonferenze da cui vengono ricavate le misure dalla macchina CMM, denominazione dei piani individuati e sistema di riferimento utilizzato per le misure.**

Dopo la calibrazione segue la fase dell'allineamento del sistema; lo si effettua attraverso il metodo "Sistema 3,2,1 – piano, linea, punto", ovvero l'operatore, aiutandosi con la periferica di comando (joystick) della macchina CMM, sposta il tastatore sul pezzo, individuando come minimo 3 punti sul piano xy, ovvero su un piano normale all'asse z, (Top), 2 punti lungo l'asse y (Left side) e 1 punto lungo l'asse x (Front side).

Bisogna prestare particolare attenzione quando si rilevano i punti lungo y: si scende e ci si avvicina al lato fino a toccarlo, si parte individuando una y dalla parte più in basso del lato, così che sia il più vicino possibile all'origine; i punti devono definire la direzione ed il verso di y, per cui la z non deve variare, ed i punti devono essere presi in sequenza secondo il verso di y positivo. Seguirà una fase di allineamento automatico, più preciso, poiché verranno rilevati più punti rispetto al precedente allineamento manuale:

- 13 punti lungo l'asse z (Top);
- 4 punti lungo l'asse y (Left side);
- 1 punto lungo l'asse x (Front side).

A questo punto, terminato l'allineamento, la macchina, precedentemente programmata, procede con le effettive misurazioni dei punti lungo il pezzo, ottenendo le misure delle coordinate di: 3 punti (Front side: punto 5, punto 6, punto 7) (Right side: punto 2, punto 3, punto 4), 8 punti (Rear side individuato come PLN3) (Left side individuato come PLN2), mentre il lato Top verrà individuato come PLN1.

Per ogni cilindro la macchina individuerà 12 punti, 4 per ogni livello:

- 1° livello 4 punti;
- poi scende ancora nel foro (2° livello) e rileva altri 4 punti;
- scende ulteriormente (3° livello) e vengono misurate le coordinate di altri 4 punti.

A questo punto, è stato possibile rielaborare la media e la deviazione standard delle misurazioni in tre ripetizioni, realizzate sui campioni: 01, 03, 05, 07, 09 e 10.

Le rielaborazioni hanno riguardato:

- la distanza tra i punti 2,3,4 ed il piano PLN2 (lunghezza (x));
- la distanza tra i punti 5,6,7 ed il piano PLN3 (larghezza (y));
- il diametro delle quattro circonferenze;
- la planarità dei tre piani rilevati;
- la localizzazione dell'asse del cilindro (la cilindricità dei quattro cilindri).

La deviazione standard calcolata tra le ripetizioni, mette in risalto valori piuttosto bassi e per lo più nulli.

Di seguito sono riportati i valori che sono stati stabiliti in fase di progettazione:

<b>Misure Nominali</b>		
Lunghezza (x) (mm)		50
Larghezza (y) (mm)		50
Diametro CIR 1 (mm)		15
Diametro CIR 2 (mm)		15
Diametro CIR 3 (mm)		10
Diametro CIR 4 (mm)		5
Planarità TOP (PLN1) (mm)		0
Planarità SSX (PLN2) (mm)		0
Planarità REAR (PLN3) (mm)		0
Cilindricità CYL 1 (mm)		0
Cilindricità CYL 2 (mm)		0
Cilindricità CYL 3 (mm)		0
Cilindricità CYL 4 (mm)		0

*Tabella 2. Valori nominali in mm delle misure*

La Figura 41, che fa riferimento al momento pre-finitura, e la Figura 42, relativa al post finitura, mostra nello specifico per ciascun campione, l'andamento medio degli scostamenti (val. reale – val. nominale) per ciascuna misura, che è stata rilevata in più ripetizioni; per fornire ulteriori dettagli, è riportato l'intervallo, calcolato rispetto al valore medio, tra il valore massimo e il valore minimo di ogni misura, considerando le tre ripetizioni.

Di seguito, nella Tabella 3 e nella Tabella 4, sono presenti i valori della deviazione standard (SD) degli scostamenti (val. reale – val. nominale) delle misure realizzate in più ripetizioni per ciascun campione, relativamente alla fase di pre e post finitura rispettivamente.

Come atteso, il processo di finitura ha portato alla diminuzione delle misure di lunghezza (x) e larghezza (y), mentre per quanto riguarda i fori, l'azione dei grani abrasivi al loro interno, ha permesso l'asportazione di materiale, portando quindi ad un aumento del loro diametro.

Tali differenze tra le misure pre-finitura e quelle post finitura, risultano ancora più evidenti nel caso dei campioni 01, 05 e 09 (Figura 39) che hanno subito un processo di finitura più lungo, composto cioè da: tre processi iniziali di vibrofinitura, sabbiatura e un processo finale di vibrofinitura, mentre i campioni 03, 07 e 10 (Figura 40) sono stati sottoposti ai soli tre trattamenti iniziali di vibrofinitura (cfr. Paragrafo 4.4.1.4); la Figura 39 è infatti relativa al confronto tra la media delle misure pre e post finitura per i campioni 01, 05 e 09, mentre la Figura 40 paragona la media delle misure pre e post finitura dei campioni 03, 07, 10.

## Confronto tra le misure medie pre e post finitura

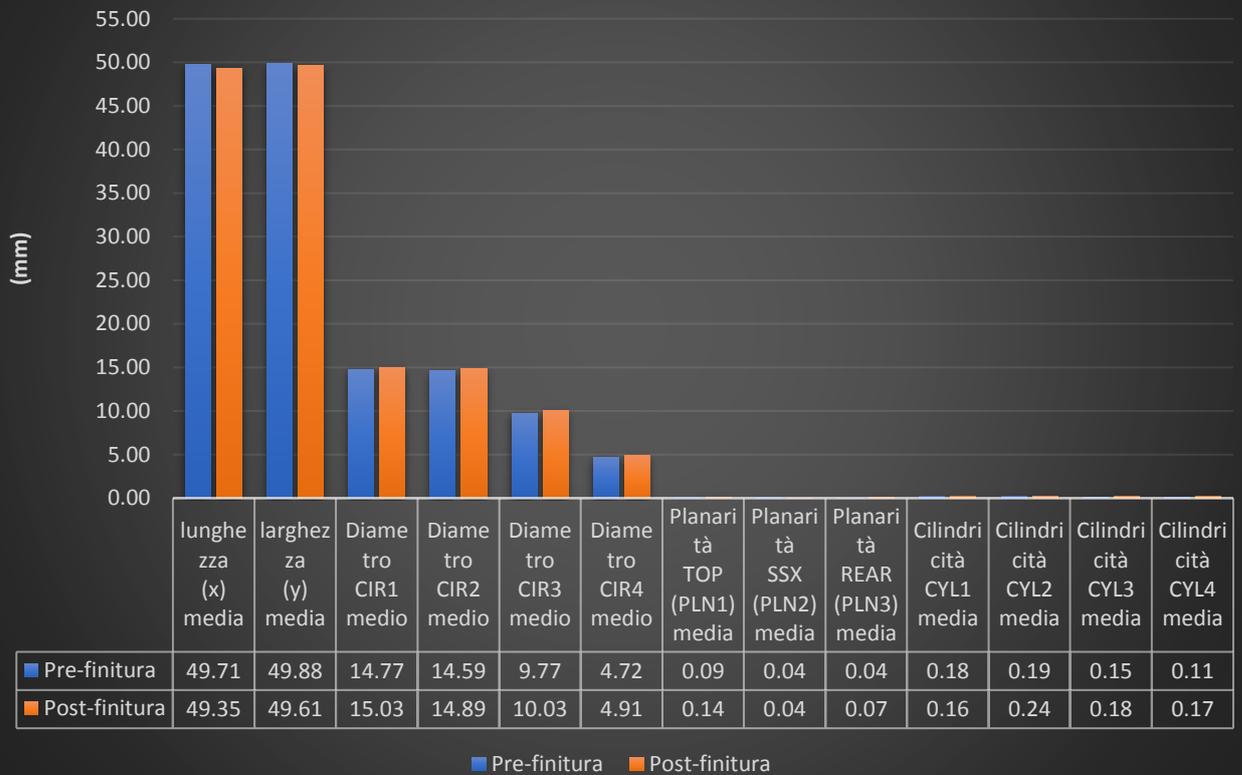


Figura 39. Confronto tra le misure medie pre e post finitura dei campioni 01, 05 e 09 ottenute con la macchina CMM

## Confronto tra le misure medie pre e post finitura

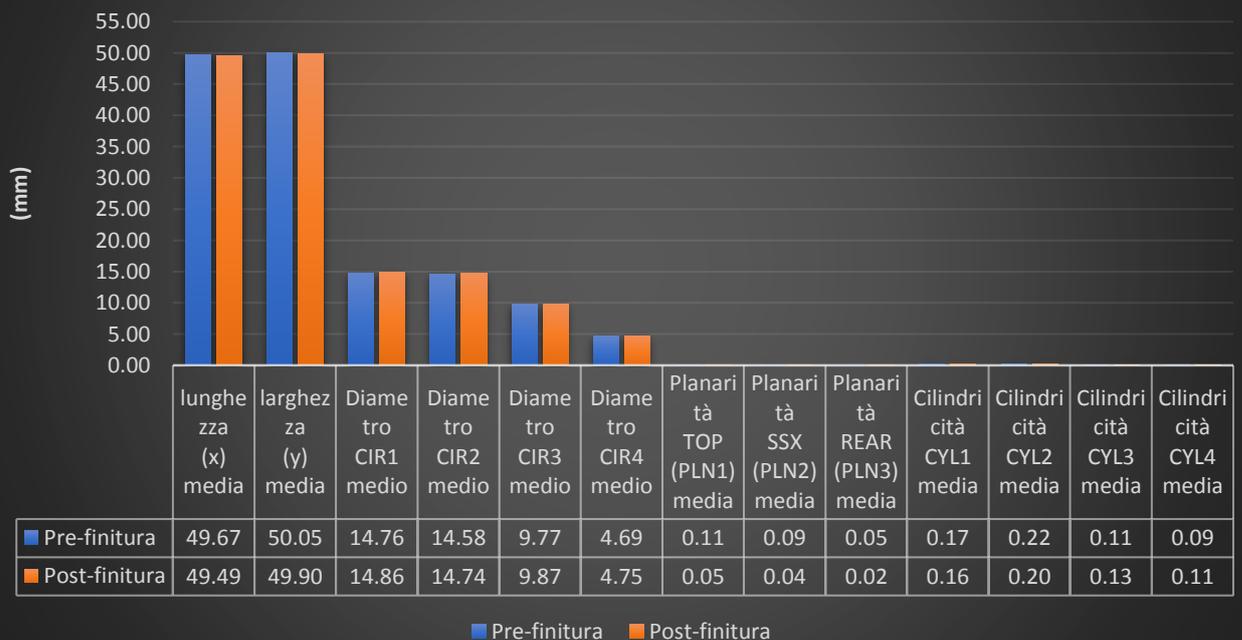


Figura 40. Confronto tra le misure medie pre e post finitura dei campioni 03, 07 e 10 ottenute con la macchina CMM

Pre finitura

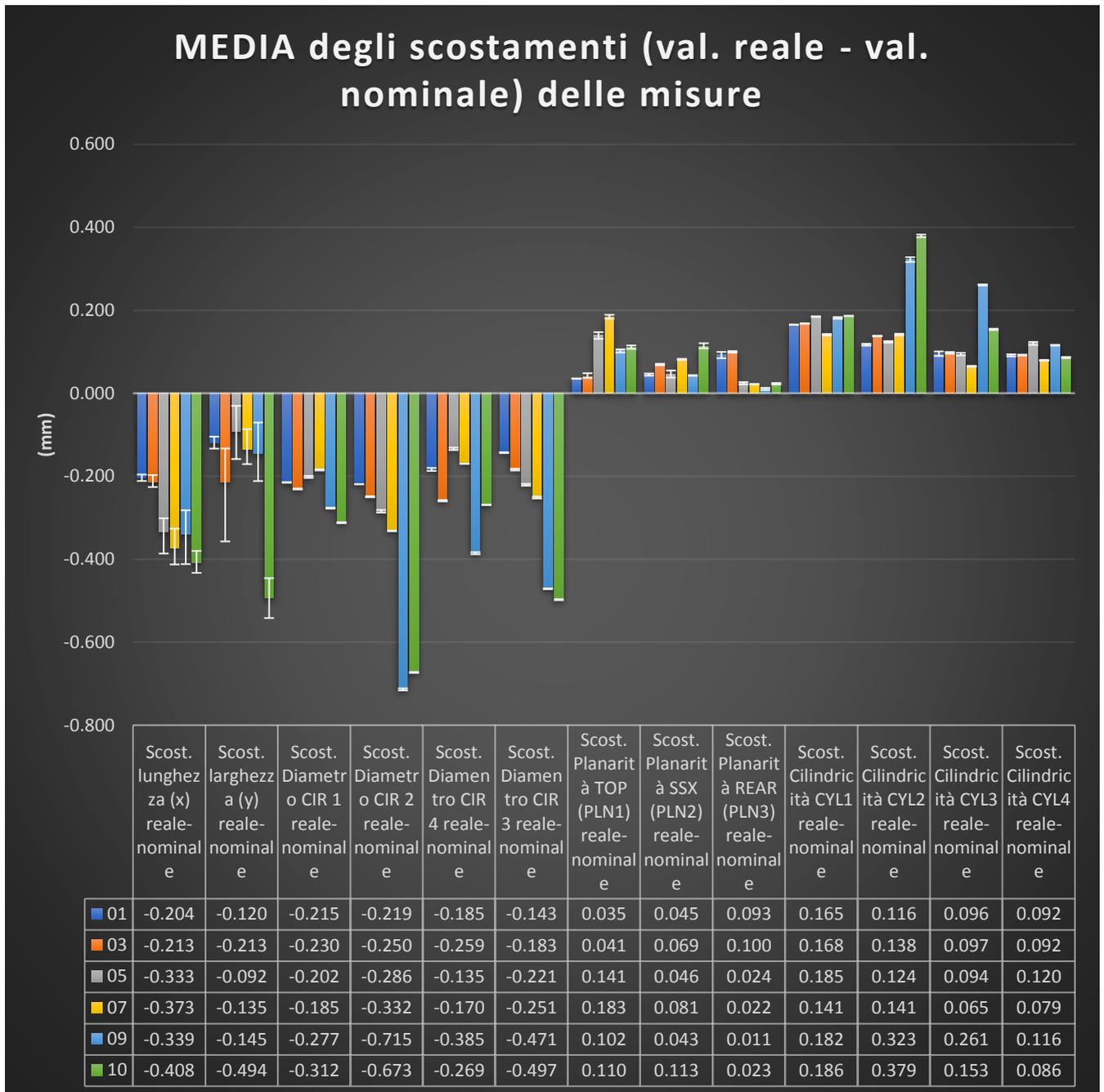
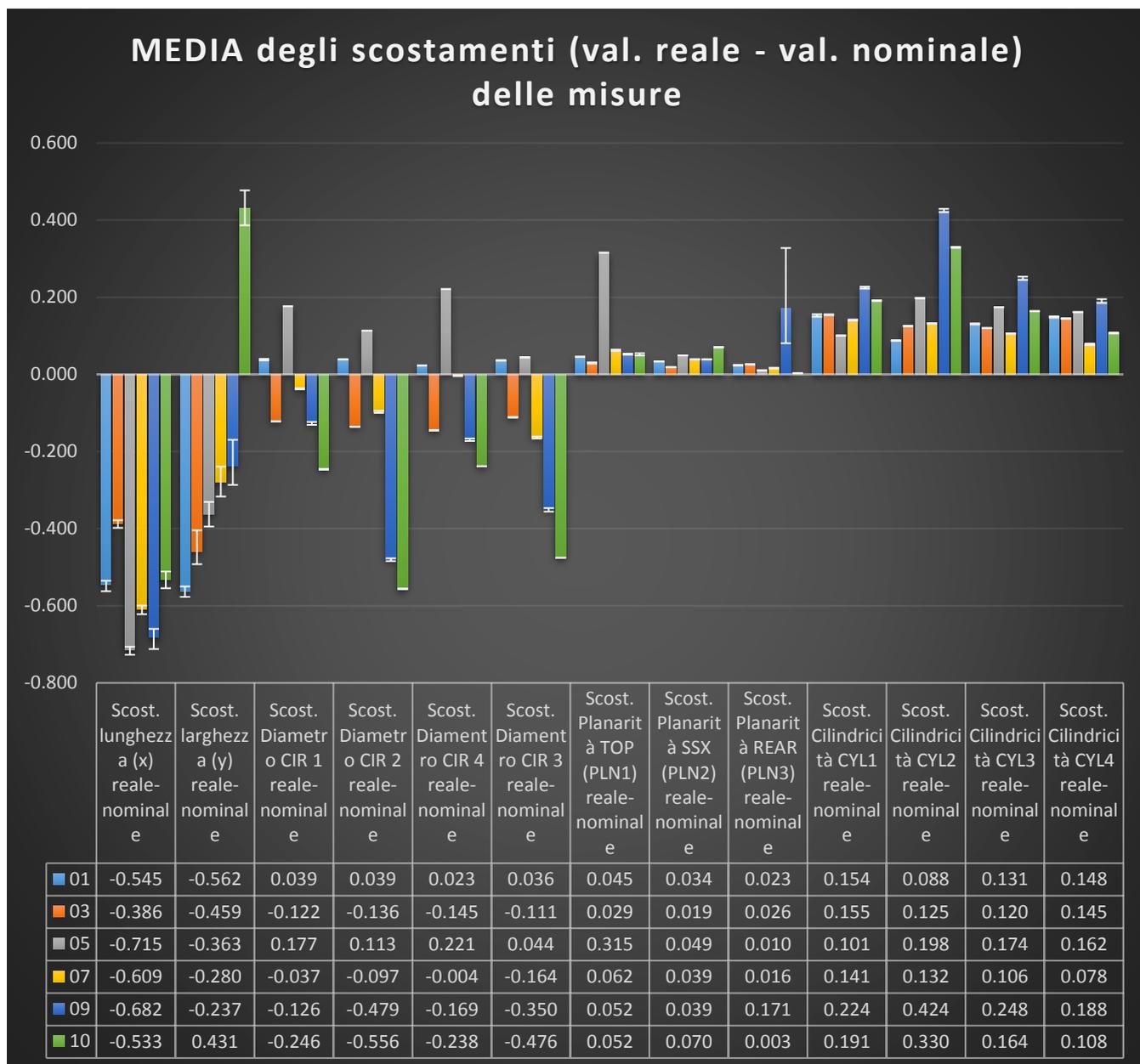


Figura 41. MEDIA degli scostamenti (val. reale - val. nominale) delle misure realizzate in più ripetizioni per ciascun campione; è inoltre riportato l'intervallo di errore rispetto al valore medio, tra il valore massimo e il valore minimo misurato

SD degli scostamenti (val. reale - val. nominale) delle misure													
Campione	Lunghezza (x)	Larghezza (y)	CIR 1	CIR 2	CIR 3	CIR 4	Planarità			Cilindricità CYL1	Cilindricità CYL2	Cilindricità CYL3	Cilindricità CYL4
							TOP (PLN1)	SSX (PLN2)	REAR (PLN3)				
01	0,005	0,010	0,001	0,001	0,004	0,001	0,000	0,003	0,008	0,001	0,002	0,006	0,003
03	0,010	0,106	0,001	0,002	0,002	0,002	0,007	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001
05	0,030	0,051	0,002	0,004	0,003	0,002	0,009	0,009	0,003	0,001	0,002	0,003	0,004
07	0,034	0,037	0,001	0,001	0,000	0,002	0,005	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001
09	0,056	0,060	0,001	0,003	0,003	0,001	0,004	0,001	0,003	0,002	0,006	0,002	0,001
10	0,018	0,037	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004	0,007	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001

Tabella 3. SD degli scostamenti (val. reale - val. nominale) delle misure realizzate in più ripetizioni per ciascun campione

## Post finitura



**Figura 42. MEDIA degli scostamenti (val. reale - val. nominale) delle misure realizzate in più ripetizioni per ciascun campione; è inoltre riportato l'intervallo di errore rispetto al valore medio, tra il valore massimo e il valore minimo misurato**

SD degli scostamenti (val. reale - val. nominale) delle misure													
Campione	Lunghezza (x)	Larghezza (y)	CIR 1	CIR 2	CIR 3	CIR 4	Planarità TOP (PLN1)	Planarità SSX (PLN2)	Planarità REAR (PLN3)	Cilindricità CYL1	Cilindricità CYL2	Cilindricità CYL3	Cilindricità CYL4
01	0,013	0,010	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,004	0,000	0,001	0,002
03	0,009	0,039	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
05	0,008	0,026	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
07	0,007	0,032	0,002	0,003	0,001	0,003	0,002	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002
09	0,023	0,039	0,004	0,004	0,004	0,005	0,001	0,000	0,136	0,003	0,005	0,005	0,006
10	0,018	0,036	0,001	0,001	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001

**Tabella 4. SD degli scostamenti (val. reale - val. nominale) delle misure realizzate in più ripetizioni per ciascun campione**

### 4.3 Caratterizzazione superficiale

Le prove di caratterizzazione superficiale sui sei campioni, che hanno restituito informazioni relative alla rugosità e mappe significative dei componenti, sono state realizzate dal microscopio ottico *MarSurf CM* in due momenti, prima e dopo la lavorazione di finitura.

Inizialmente si era provato a realizzare tali prove utilizzando un rugosimetro ed un profilometro a contatto, ma i risultati non sono stati soddisfacenti dal momento che si tratta di campioni caratterizzati da un *range* di misura superiore ai 320  $\mu\text{m}$  (+160  $\mu\text{m}$  per i picchi e -160  $\mu\text{m}$  per le valli), valore limite per il rugosimetro utilizzato.

Di seguito vengono descritte entrambe le attività di misura realizzate (con strumenti a contatto e microscopio ottico).

#### 4.3.1 Strumenti a contatto

La caratterizzazione morfologica con gli strumenti a contatto è avvenuta presso i laboratori del Politecnico di Alessandria:

è stato adoperato, il **rugosimetro** *Hommelwerke Tester T1000* in accordo con DIN EN ISO 4287, caratterizzato da un'accuratezza corrispondente a DIN 4772 *Class 1*, con una risoluzione di 0,01  $\mu\text{m}$  ed un *range* di misura di  $\pm 80 \mu\text{m}$ ; il rugosimetro tasta la superficie tramite la sua punta in diamante, muovendosi in direzione verticale, genera i vari parametri di rugosità necessari per la rielaborazione.

Prima di iniziare con i rilevamenti, s'imposta il sistema con:

- la lunghezza di scansione **Lt** posta ad un valore di 4,80 mm;
- la lunghezza del tratto di code da tagliare **Lc** per evitare eventuali errori di inizio e fine misura, posto a 0,800 mm;
- si stabilisce di conseguenza il valore del rapporto **Lc/Ls**;
- il valore massimo di picchi e valli che il rugosimetro riesce a misurare, **Range**, posto ad un valore pari a 320  $\mu\text{m}$ .

A seguito di questa fase d'impostazione dello strumento, si appoggia la punta in diamante sul pezzo e si prosegue con le misurazioni.

Le misure di rugosità considerate durante i rilevamenti sono (definizioni riportate secondo le Norme UNI EN ISO):

- $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) = valore di rugosità media;
- $R_q$  ( $\mu\text{m}$ ) = media quadratica degli scostamenti dei punti del profilo, dalla linea media;
- $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ) = la media delle differenze fra i 5 picchi più alti e le 5 gole più profonde nell'ambito della lunghezza di campionamento;
- $R_t$  ( $\mu\text{m}$ ) = massima distanza tra il picco più alto e la valle più profonda considerata una lunghezza di base L;
- $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) = altezza massima di picco del profilo;
- $R_v$  ( $\mu\text{m}$ ) = profondità massima della valle del profilo;
- $R_{sk}$  = la simmetria del profilo rispetto alla linea media;
- $R_{ku}$  = l'acutezza del profilo;
- $R_{pk}$  ( $\mu\text{m}$ ) = altezza ridotta dei picchi, è la parte superiore della superficie che viene rapidamente asportata ai primi cicli.

Le misurazioni vengono effettuate sulla superficie “on Top” del pezzo, che viene suddivisa in tre parti, lungo le quali si realizzano più rilevamenti (Figura 43-45):

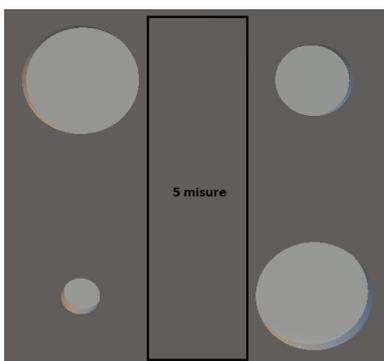


Figura 43. Lato superiore dei campioni; si realizzano 5 misurazioni lungo la parte centrale (a)

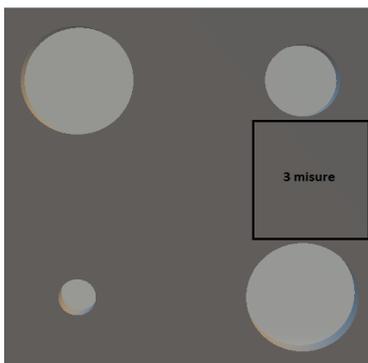


Figura 44. Lato superiore dei campioni; si realizzano 3 misurazioni tra i due fori a destra nella figura (b)

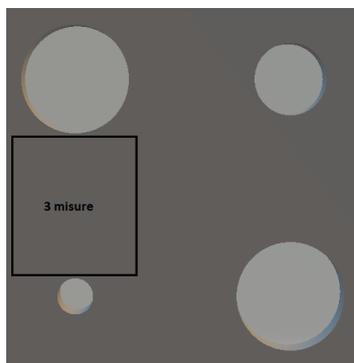


Figura 45. Lato superiore dei campioni; si realizzano 3 misurazioni tra i due fori a sinistra nella figura (d)

La punta in diamante si muove in direzione perpendicolare rispetto al numero del campione riportato sul pezzo.

Si parte con i campioni 03 e 01, cresciuti verticalmente in fase di produzione.

La misura della loro rugosità va a buon fine, poiché i loro profili non superano il *range* impostato: +160  $\mu\text{m}$  (per i picchi) e -160  $\mu\text{m}$  (per le valli), in particolare il *range* ottenuto dalla misurazione risulta 200  $\mu\text{m}$  (+100  $\mu\text{m}$  per i picchi e -100  $\mu\text{m}$  per le valli).

Per ciò che riguarda la misura degli altri pezzi, i risultati non sono stati soddisfacenti, dal momento che si tratta di campioni con un *range* di misura che risulta essere superiore ai 320  $\mu\text{m}$  di cui dispone il rugosimetro utilizzato.

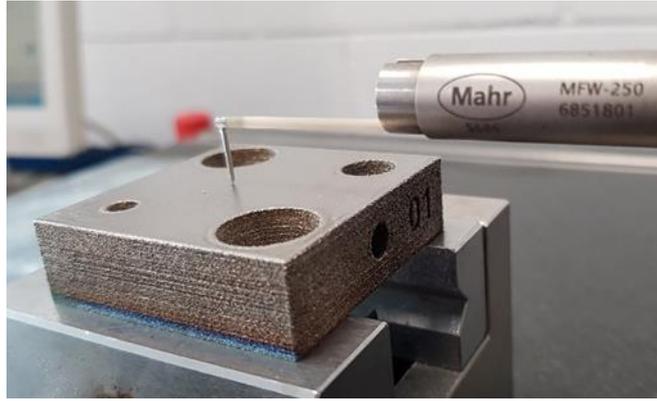
La soluzione, è quindi quella di adoperare uno strumento per la misura della rugosità che proceda con una scansione non a contatto.

Il profilometro utilizzato è il *MarSurf CD 120*; prima di procedere al rilevamento del profilo, si è impostata la velocità di percorso dello strumento, al valore più basso possibile, così da non avere misure sfasate che potrebbero alterarne il profilo reale.

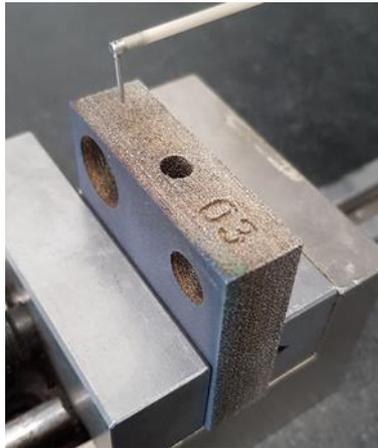
Anche in questo caso però, il risultato ottenuto non è stato soddisfacente, per il medesimo motivo espresso nel caso del rugosimetro, ecco perché si è preferito l'utilizzo del microscopio ottico *MarSurf CM*.

A tale proposito, le misure sono state affidate ad un'azienda, la *Best Finishing Srl*, che ha comunque voluto ripetere i rilevamenti con un dispositivo a contatto, per poi procedere con uno strumento di misura ottico, che ha permesso di ottenere informazioni relative ad un'intera area.

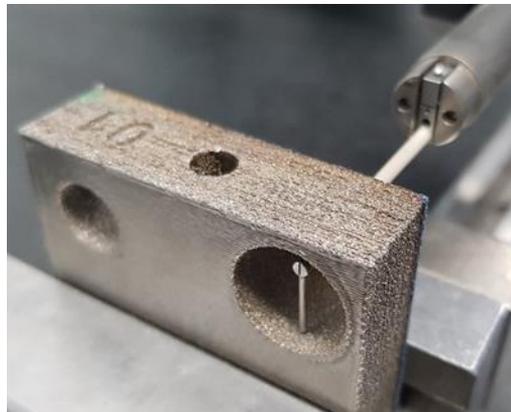
Il dispositivo a contatto da loro utilizzato, è il rugosimetro *MarSurf XR 20*; le misure sono state condotte considerando tre posizioni di misura su ciascun campione (illustrate in Figura 46-48), e ripetute prima e dopo il processo di finitura.



*Figura 46. Zona 1*



*Figura 47. Zona 2*



*Figura 48. Zona 3*

Pre Finitura Campione 01				Post Finitura Campione 01			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3		Zona 1	Zona 2	Zona 3
<i>Ra</i> (μm)	3,11	35,95	25,16	<i>Ra</i> (μm)	0,15	5,25	17,06
<i>Rq</i> (μm)	4,00	44,80	31,15	<i>Rq</i> (μm)	0,22	7,01	21,55
<i>Rz</i> (μm)	16,48	163,84	121,93	<i>Rz</i> (μm)	1,78	24,58	77,63
<i>Rt</i> (μm)	23,47	235,52	143,25	<i>Rt</i> (μm)	2,35	35,4	121,51
<i>Rp</i> (μm)	8,45	82,96	56,27	<i>Rp</i> (μm)	0,67	6,87	35,8
<i>Rv</i> (μm)	8,03	80,88	65,66	<i>Rv</i> (μm)	1,11	17,71	41,83
<i>Rsk</i>	-0,04	0,22	-0,11	<i>Rsk</i>	-1,63	-1,36	-0,57
<i>Rku</i>	2,96	2,8	2,49	<i>Rku</i>	8,91	4,02	3,85
<i>Rpk</i> (μm)	4,25	44,13	23,84	<i>Rpk</i> (μm)	0,17	1,77	9,77

Tabella 5. Misure di rugosità per il campione 01 prima e dopo la finitura

Pre Finitura Campione 03				Post Finitura Campione 03			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3		Zona 1	Zona 2	Zona 3
<i>Ra</i> (μm)	4,37	39,71	17,43	<i>Ra</i> (μm)	0,84	25,14	20,99
<i>Rq</i> (μm)	5,60	49,03	20,49	<i>Rq</i> (μm)	1,41	30,41	25,44
<i>Rz</i> (μm)	21,41	196,90	75,76	<i>Rz</i> (μm)	5,94	118,00	103,00
<i>Rt</i> (μm)	27,24	238,72	93,55	<i>Rt</i> (μm)	11,27	142,15	122,83
<i>Rp</i> (μm)	13,85	108,06	40,68	<i>Rp</i> (μm)	1,45	49,14	44,62
<i>Rv</i> (μm)	7,56	88,84	35,08	<i>Rv</i> (μm)	4,48	68,87	58,38
<i>Rsk</i>	1,13	0,56	0,27	<i>Rsk</i>	-2,54	-0,25	-0,2
<i>Rku</i>	3,54	2,74	2,2	<i>Rku</i>	12,95	2,43	2,48
<i>Rpk</i> (μm)	8,88	59,57	17,53	<i>Rpk</i> (μm)	11,54	6,58	5,09

Tabella 6. Misure di rugosità per il campione 03 prima e dopo la finitura

Pre Finitura Campione 05				Post Finitura Campione 05			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3		Zona 1	Zona 2	Zona 3
<i>Ra</i> (μm)	18,59	17,04	17,30	<i>Ra</i> (μm)	1,03	0,63	3,10
<i>Rq</i> (μm)	25,40	22,16	23,32	<i>Rq</i> (μm)	1,87	1,01	3,97
<i>Rz</i> (μm)	97,91	84,19	97,89	<i>Rz</i> (μm)	5,80	4,06	15,75
<i>Rt</i> (μm)	151,74	115,33	144,66	<i>Rt</i> (μm)	14,1	8,27	22,26
<i>Rp</i> (μm)	58,56	49,8	55,15	<i>Rp</i> (μm)	2,17	1,31	5,98
<i>Rv</i> (μm)	39,36	34,39	42,75	<i>Rv</i> (μm)	3,63	2,74	9,77
<i>Rsk</i>	1,17	0,79	0,68	<i>Rsk</i>	-2,14	-2,18	-0,84
<i>Rku</i>	4,96	3,26	3,97	<i>Rku</i>	9,67	11,11	3,66
<i>Rpk</i> (μm)	48,17	34,56	39,46	<i>Rpk</i> (μm)	1,53	12,16	2,23

Tabella 7. Misure di rugosità per il campione 05 prima e dopo la finitura

<i>Pre Finitura</i>				<i>Post Finitura</i>			
Campione 07				Campione 07			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3		Zona 1	Zona 2	Zona 3
<i>Ra</i> (μm)	20,08	15,36	16,29	<i>Ra</i> (μm)	10,99	5,43	13,01
<i>Rq</i> (μm)	24,78	18,39	21,27	<i>Rq</i> (μm)	13,49	7,16	16,32
<i>Rz</i> (μm)	87,81	64,05	86,29	<i>Rz</i> (μm)	51,88	29,54	62,61
<i>Rt</i> (μm)	131,12	85,11	129,27	<i>Rt</i> (μm)	68,95	42,6	97,03
<i>Rp</i> (μm)	46,88	36,04	48,07	<i>Rp</i> (μm)	16,85	9,52	26,39
<i>Rv</i> (μm)	40,93	28,01	38,22	<i>Rv</i> (μm)	35,03	20,02	36,22
<i>Rsk</i>	0,26	0,41	0,63	<i>Rsk</i>	-1,04	-1,07	0,02
<i>Rku</i>	2,86	2,39	4,15	<i>Rku</i>	3,24	4,28	2,92
<i>Rpk</i> (μm)	31,02	16,71	29,35	<i>Rpk</i> (μm)	3,52	2,27	10,68

*Tabella 8. Misure di rugosità per il campione 07 prima e dopo la finitura*

<i>Pre Finitura</i>				<i>Post Finitura</i>			
Campione 09				Campione 09			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3		Zona 1	Zona 2	Zona 3
<i>Ra</i> (μm)	17,96	4,25	7,48	<i>Ra</i> (μm)	3,35	0,21	4,39
<i>Rq</i> (μm)	22,48	4,95	10,59	<i>Rq</i> (μm)	5,80	0,31	5,81
<i>Rz</i> (μm)	86,85	18,43	41,43	<i>Rz</i> (μm)	23,08	2,17	27,04
<i>Rt</i> (μm)	123,54	20,87	71,78	<i>Rt</i> (μm)	52,86	3,86	35,73
<i>Rp</i> (μm)	43,16	9,11	20,25	<i>Rp</i> (μm)	6,07	1,09	9,27
<i>Rv</i> (μm)	43,69	9,32	21,18	<i>Rv</i> (μm)	17,02	1,07	17,77
<i>Rsk</i>	-0,01	0,05	-0,22	<i>Rsk</i>	-3,06	-0,5	-1,08
<i>Rku</i>	2,88	2	4,67	<i>Rku</i>	17,56	10,16	4,62
<i>Rpk</i> (μm)	21,5	2,73	13	<i>Rpk</i> (μm)	2,83	0,34	2,43

*Tabella 9. Misure di rugosità per il campione 09 prima e dopo la finitura*

<i>Pre Finitura</i>				<i>Post Finitura</i>			
Campione 10				Campione 10			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3		Zona 1	Zona 2	Zona 3
<i>Ra</i> (μm)	19,08	3,78	7,32	<i>Ra</i> (μm)	19,54	0,33	7,31
<i>Rq</i> (μm)	23,58	4,49	8,69	<i>Rq</i> (μm)	22,89	0,54	9,08
<i>Rz</i> (μm)	91,75	16,67	29,28	<i>Rz</i> (μm)	86,65	2,70	30,46
<i>Rt</i> (μm)	112,31	22,44	36,2	<i>Rt</i> (μm)	112,46	4,5	51,21
<i>Rp</i> (μm)	46,09	8,49	12,34	<i>Rp</i> (μm)	33,4	0,53	13,16
<i>Rv</i> (μm)	45,66	8,17	16,94	<i>Rv</i> (μm)	53,26	2,17	17,3
<i>Rsk</i>	0,08	-0,01	-0,43	<i>Rsk</i>	-0,5	-3,3	-0,61
<i>Rku</i>	2,62	2,3	2,16	<i>Rku</i>	2,46	17,89	3,21
<i>Rpk</i> (μm)	21,33	3,41	1,19	<i>Rpk</i> (μm)	11,95	0,14	3,81

*Tabella 10. Misure di rugosità per il campione 10 prima e dopo la finitura*

Sono evidenti notevoli miglioramenti in termini di rugosità superficiale a seguito della finitura, in particolare per i campioni 01, 05 e 09 che come spiegato nei paragrafi successivi (cfr. Paragrafo 4.4.1.4) hanno subito un processo di finitura composto da: tre processi iniziali di vibrofinitura, sabbiatura e un processo finale di vibrofinitura.

I valori più alti si registrano in corrispondenza della zona 2 (Figura 47) e all'interno dei fori, zona 3 (Figure 48).

In particolare, anche a seguito della finitura, è ancora nella zona 3 che si rilevano misure di rugosità più alte rispetto alle altre due zone considerate;

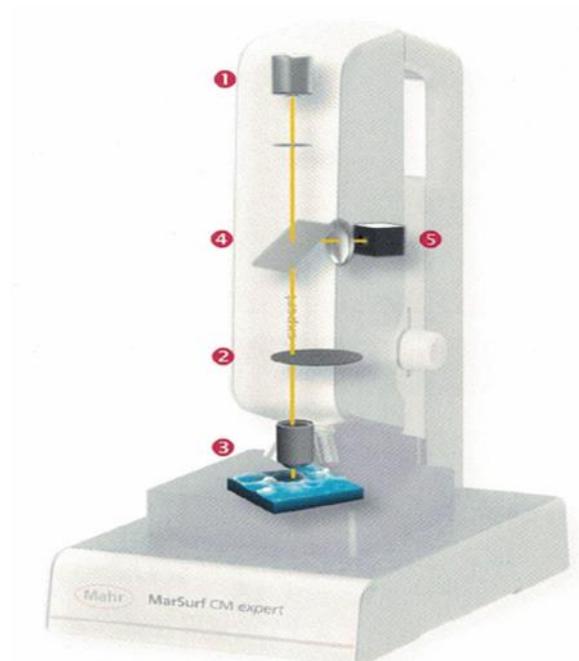
come spiegato infatti di seguito (cfr. paragrafo 4.4.1.4), è stato difficile lavorare l'interno dei fori e riuscire a raggiungere valori medi di rugosità bassi come quelli registrati nella zona 1 (Figura 46), caratterizzata da un  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ )  $\cong 1$ ; il miglioramento nella zona 3 c'è comunque stato, considerando un valore medio di partenza  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ )  $> 16$  e ottenendo a seguito della finitura (i tre processi iniziali di vibrofinitura, sabbiatura e un processo finale di vibrofinitura), dei campioni 01, 05, 09, un valore medio di  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ )  $\cong 8$ .

### 4.3.2 Strumento ottico

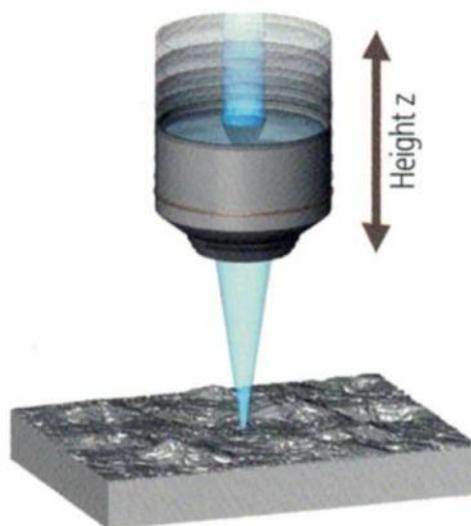
Lo strumento ottico *MarSurf CM* utilizzato per la caratterizzazione morfologica dei campioni prima e dopo il processo di finitura, è provvisto di sensori che si basano sulla tecnologia *Confocal multi-pinhole* (CMP - principio confocale), usata nelle misure, così da rappresentare i dati in coordinate (x, y, z) reali in pochi secondi. L'innovativa tecnologia confocale garantisce misure 3D della superficie ad un'alta risoluzione.

Rispetto a quanto riportato nella Figura 49, la luce proviene da una sorgente LED (1), che viene messa a fuoco tramite dei fori su una *multi-pinhole-disc* (MPD - disco multiforo) (2) e tramite la lente obiettivo sulla superficie del campione (3).

I fasci di luce sono deviati da un dispositivo ottico (4) e catturati da una camera (5).



*Figura 49. Schema dello strumento ottico MarSurf CM [88]*



*Figura 50. La lente obiettivo si sposta verticalmente, riuscendo così ad acquisire immagini a diverse altezze [88]*

L'MPD permette di ottenere risoluzioni nell'ordine dei nano metri, fa sì che la luce intorno al campione soggetto alla misura non interferisca con i pixel della fotocamera e grazie alla sua rotazione la superficie è scansionata facilmente.

Il sistema riesce a raccogliere molte informazioni, per cui si riesce ad ottenere un'immagine microscopica ad alta risoluzione [88].

Nel caso specifico le misure, condotte anche in questo caso prima e dopo la finitura, sono state però realizzate solo sui campioni che hanno subito il processo di finitura composto dai tre processi iniziali di vibrofinitura, sabbiatura e il processo finale di vibrofinitura, e su cui quindi è stato possibile osservare risultati di rugosità più significativi.

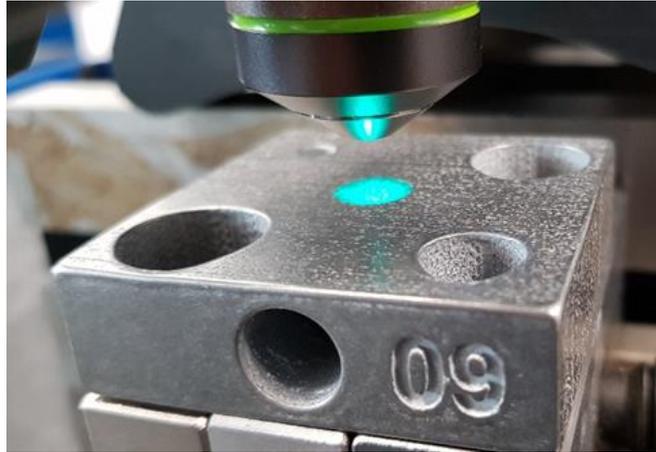


Figura 51. Posizione di misura per il rugosimetro ottico

Campione 01		
	Pre Finitura	Post Finitura
$Ra$ ( $\mu\text{m}$ )	2,75	0,199
$Rq$ ( $\mu\text{m}$ )	3,52	0,313
$Rz$ ( $\mu\text{m}$ )	15,1	2,31
$Rt$ ( $\mu\text{m}$ )	18,9	2,65
$Rp$ ( $\mu\text{m}$ )	7,75	0,607
$Rv$ ( $\mu\text{m}$ )	7,34	1,7
$Rsk$	0,102	-1,72
$Rku$	2,78	10,7

Tabella 11. Misure di rugosità per il campione 01 prima e dopo la finitura

Campione 05		
	Pre Finitura	Post Finitura
$Ra$ ( $\mu\text{m}$ )	13,1	0,472
$Rq$ ( $\mu\text{m}$ )	15,8	0,701
$Rz$ ( $\mu\text{m}$ )	63,7	4,34
$Rt$ ( $\mu\text{m}$ )	97	7,05
$Rp$ ( $\mu\text{m}$ )	32,5	1,24
$Rv$ ( $\mu\text{m}$ )	31,2	3,1
$Rsk$	0,0762	-0,698
$Rku$	2,42	7,09

Tabella 12. Misure di rugosità per il campione 05 prima e dopo la finitura

Campione 09		
	Pre Finitura	Post Finitura
<i>Ra</i> (μm)	29,2	2,2
<i>Rq</i> (μm)	34,3	2,99
<i>Rz</i> (μm)	137	13,1
<i>Rt</i> (μm)	159	14,5
<i>Rp</i> (μm)	49,8	3,7
<i>Rv</i> (μm)	87,4	9,39
<i>Rsk</i>	-0,602	-1,61
<i>Rku</i>	2,58	9,06

Tabella 13. Misure di rugosità per il campione 09 prima e dopo la finitura

Il dispositivo in quanto ottico, rileva le misure muovendosi in maniera continua lungo la superficie, come riportato in Figura 51.

Anche dalle misure ottenute dal microscopio *MarSurf CM*, dalle Tabelle 11, 12 e 13 emerge l'evidente differenza di rugosità delle superfici prima e dopo la finitura; i valori ottenuti post trattamento sono notevolmente più bassi, si può parlare mediamente di una  $Ra$  (μm) < 1, rispetto al valore di rugosità iniziale pari a, più o meno,  $Ra$  (μm) > 15.

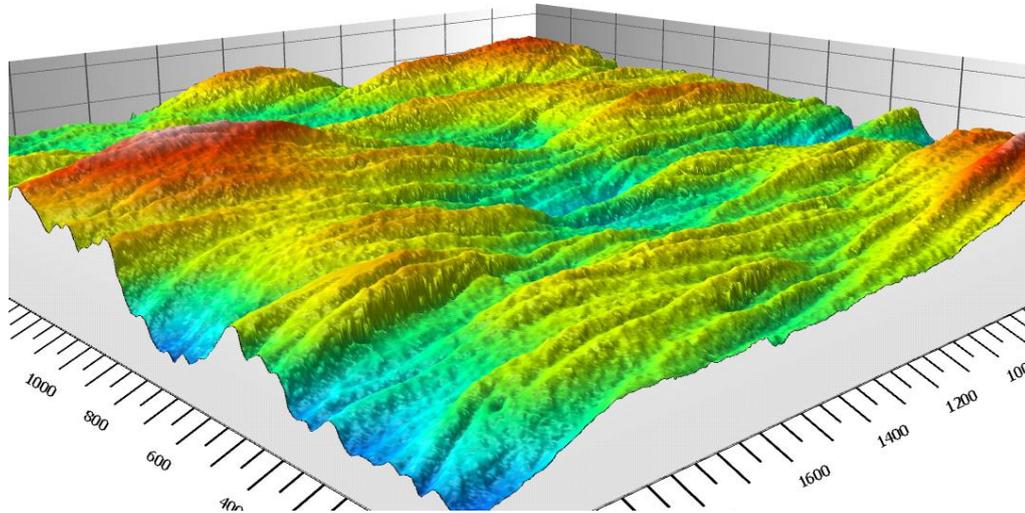
Per realizzare un confronto tra le misure ottenute con il rugosimetro a contatto *MarSurf XR 20* e il microscopio ottico *MarSurf CM*, i valori da considerare sono quelli riferiti ai campioni 01, 03, 05, che sono stati oggetto di misura per entrambi gli strumenti, per cui, considerando le Tabelle 5, 7, 10 (nel caso del rugosimetro a contatto) e le Tabelle 11-13 (microscopio ottico), si ottiene: un valore iniziale di rugosità media  $Ra > 15$  μm per entrambi i dispositivi; un valore finale di rugosità media  $Ra < 1$  μm nel caso del *MarSurf CM*, che rileva i valori di rugosità muovendosi in maniera continua lungo ciascun campione, come riportato in Figura 51, mentre, nel caso del *MarSurf XR 20*, il valore di  $Ra$ , a seguito della finitura, risulta di circa 4 μm, poiché lo strumento realizza le misure suddividendo i campioni in tre zone distinte (Figure 46-48), così all'interno dei fori, zona 3 (Figura 48), si individua un valore di rugosità media pari a  $Ra \cong 8$  μm .

Tramite lo strumento ottico *MarSurf CM* è stato possibile ottenere anche mappe significative dei componenti; di seguito sono riportate le Figure 52-57 delle mappe pre e post trattamento dei campioni 01, 05 e 09, gli unici che sono stati anche misurati, adoperando il dispositivo ottico.

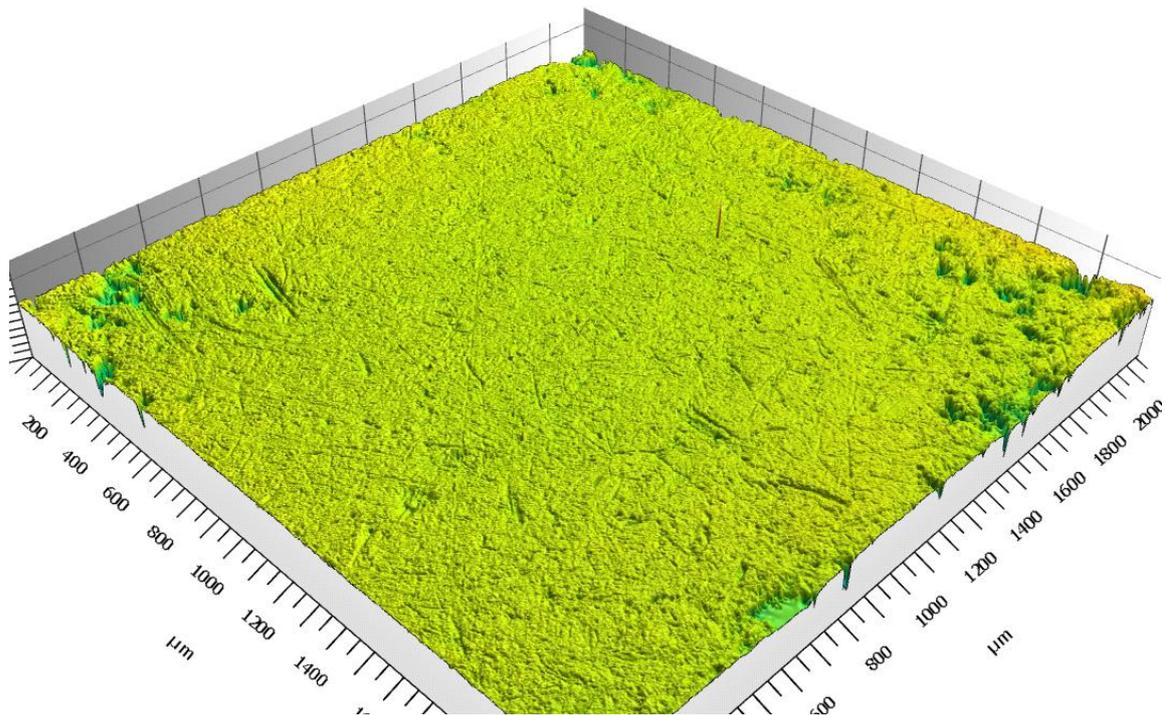
Dalle mappe appare evidente il miglioramento subito dai campioni in termini di qualità superficiale, a seguito del processo finitura.

Le Figure 52, 54 e 56, che ritraggono la superficie dei componenti prima del trattamento, mettono in evidenza mappe discontinue, ricche di picchi e avvallamenti; notevole è invece la differenza di ciò che è illustrato nelle Figure 53, 55 e 57.

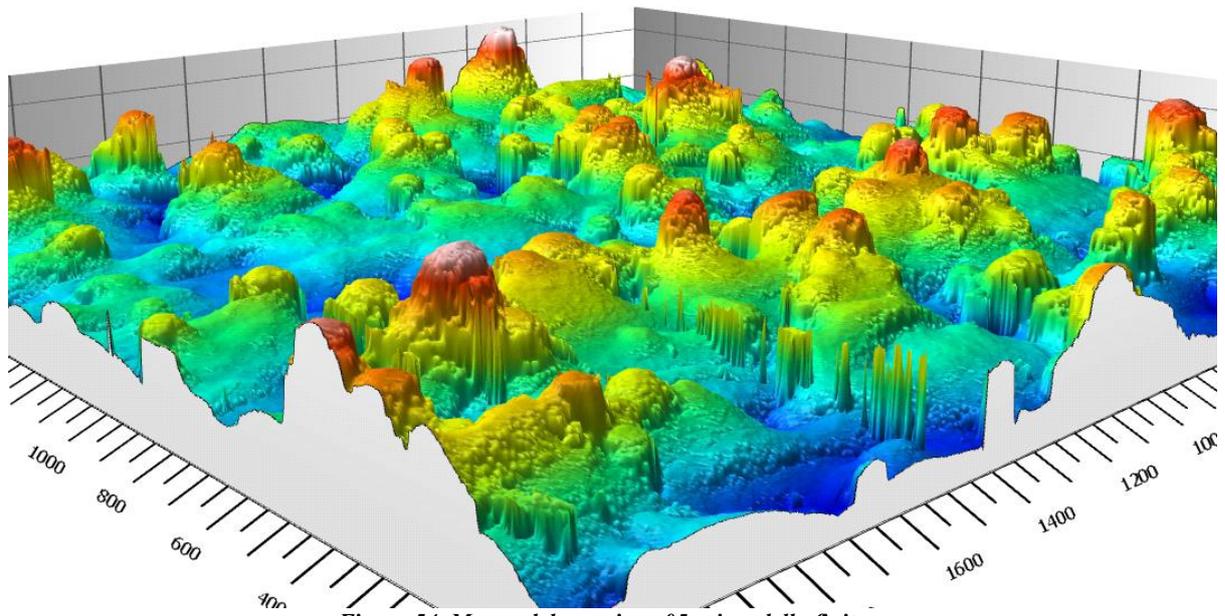
In particolare, dalle Figure 55 e 57, è possibile osservare la morfologia tipica ottenuta a seguito del processo di superfinitura isotropica, brevettato da REM® Chemicals negli anni Ottanta; le imperfezioni, relative alla zona centrale dei campioni, che emergono dalle mappe (Figure 55, 57), sono attribuibili infatti a tale processo che, tende ad eliminare principalmente i picchi, lasciando inalterate le valli, visibili per l'appunto nei "difetti" delle figure citate. La superfinitura isotropica non è un processo abrasivo e non è aggressivo, bensì progressivo, e consente di non modificare la geometria dei pezzi.



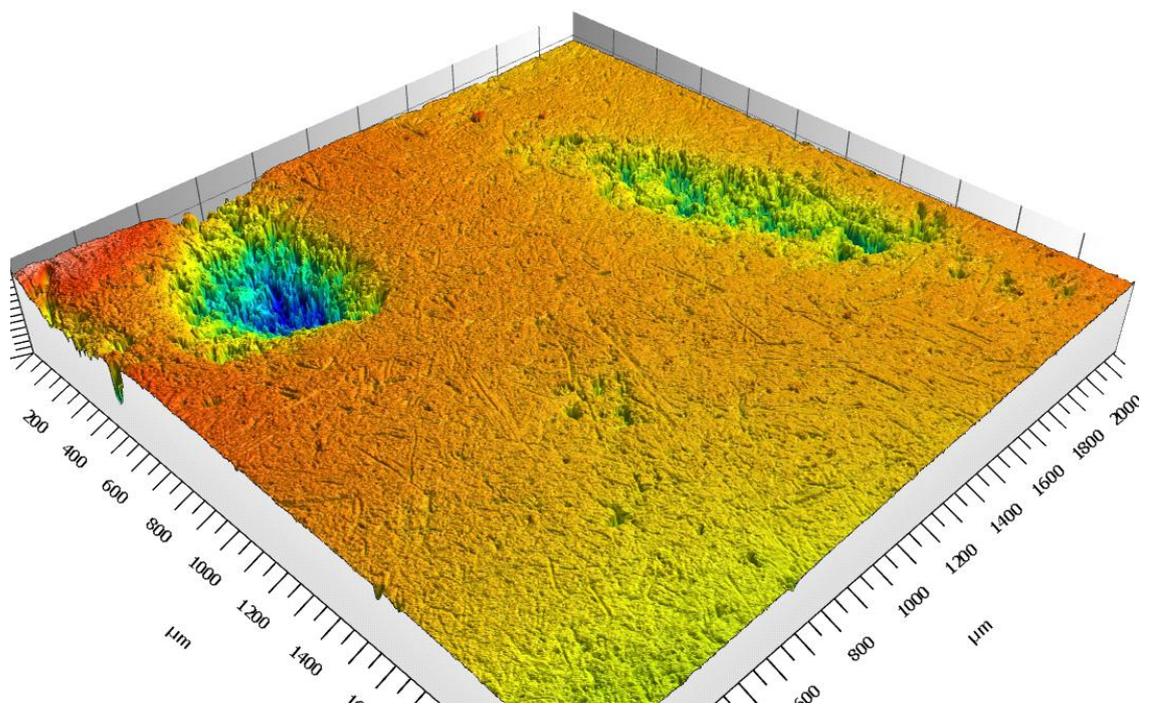
*Figura 52. Mappa del campione 01 prima della finitura*



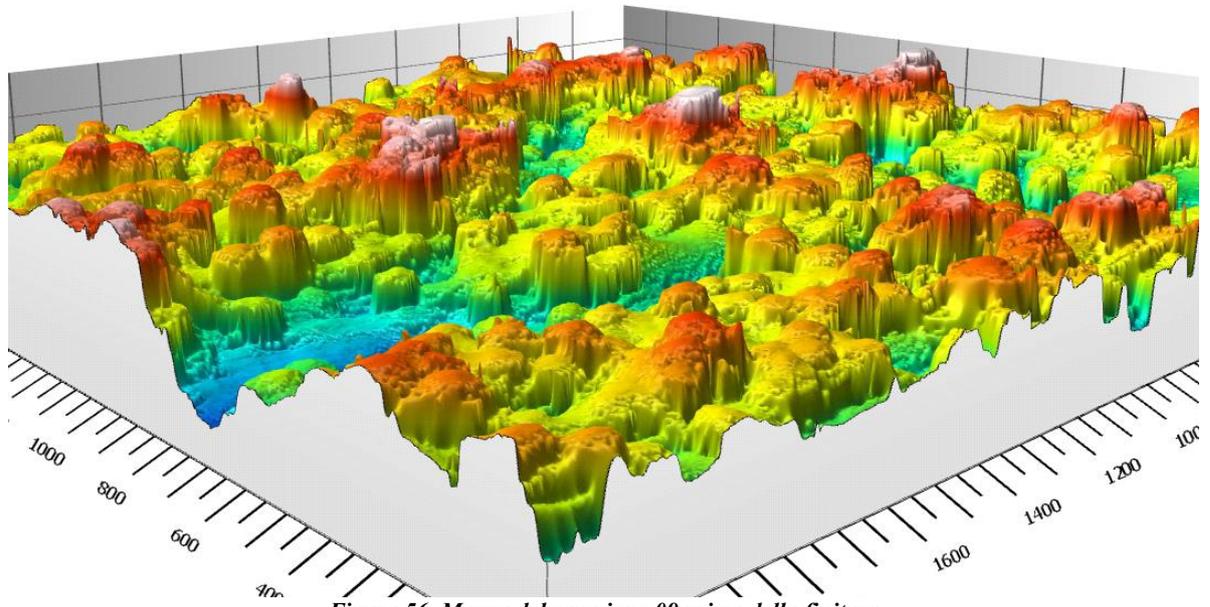
*Figura 53. Mappa del campione 01 al termine della finitura*



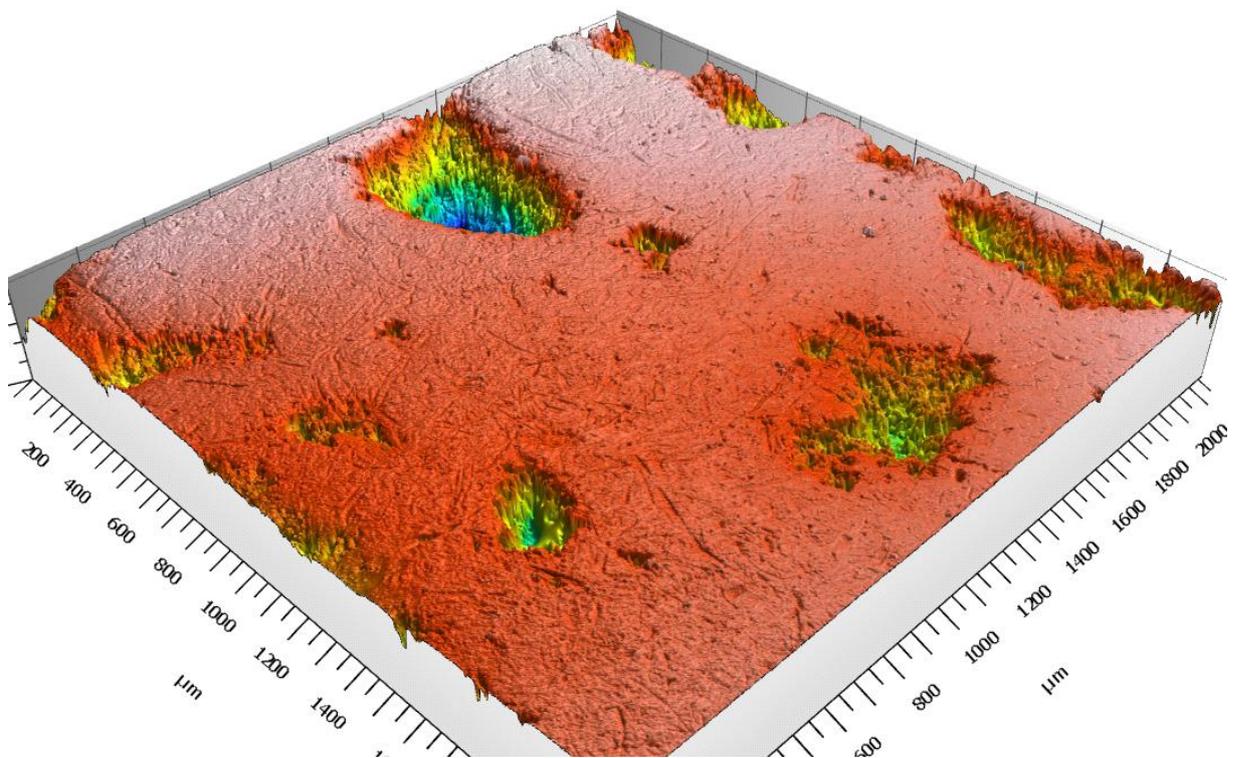
*Figura 54. Mappa del campione 05 prima della finitura*



*Figura 55. Mappa del campione 05 al termine della finitura*



*Figura 56. Mappa del campione 09 prima della finitura*



*Figura 57. Mappa del campione 09 al termine della finitura*

## 4.4 Valutazione del consumo energetico

### 4.4.1 Metodologia

La realizzazione dei componenti, prodotti tramite la tecnologia di *Additive Manufacturing*, è stata valutata considerando l'approccio *cradle-to-gate* + *end of life* (dalla culla alla tomba), trascurando la fase d'uso, come riportato in Figura 58, così da quantificare la domanda di energia primaria necessaria, e le quantità in termini di massa persa ed ottenuta, relative al ciclo di vita dei componenti.

Le fasi analizzate sono:

1. Produzione del materiale;
2. Atomizzazione;
3. Produzione del componente con AM (*Electron Beam Melting*);
4. Operazione di taglio con WEDM;
5. Operazione di finitura.

L'impatto relativo al trasporto non viene considerato, tuttavia l'energia relativa ai trasporti convenzionali è:  $0,94 \times 10^{-3} \frac{MJ}{kg \cdot km}$  per un camion da 32 tonnellate con motore diesel [89]; tale valore è quindi ipotizzato per il trasporto della materia prima.

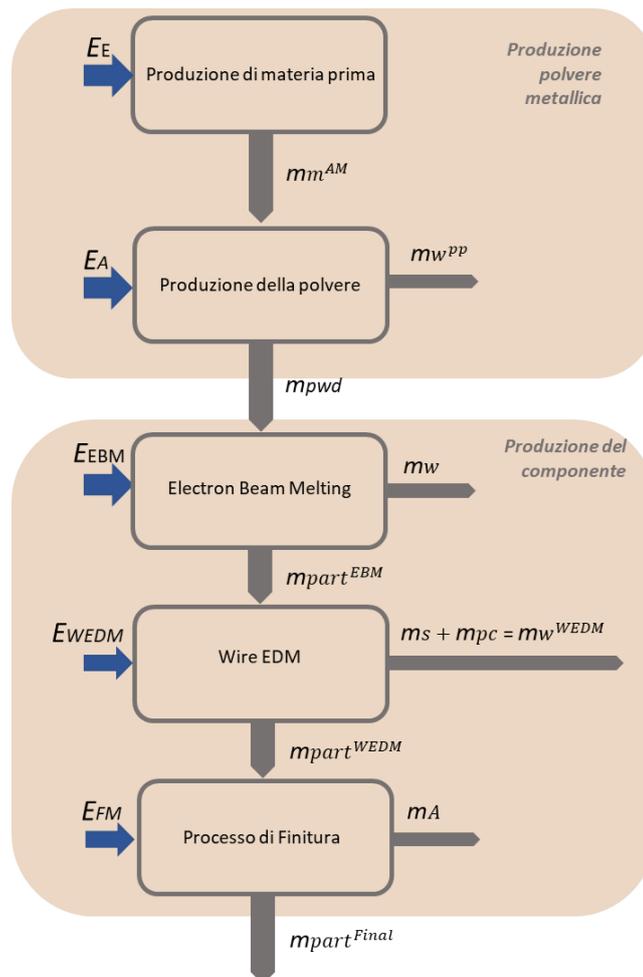


Figura 58. Energia e flussi di materiali per componenti prodotti con *Electron Beam Melting* secondo l'approccio *cradle-to-gate* + *end of life*, trascurando la fase d'uso

Dove [89]:

- $E_E$  = energia incorporata della materia prima (MJ/kg);
- $mm^{AM}$  = massa di materia prima (kg);
- $E_A$  = energia necessaria per l'atomizzazione (MJ/kg);
- $mw^{pp}$  = massa di materiale scartato dopo la produzione della polvere (kg);
- $mpwd$  = massa di polvere necessaria per la produzione con AM (kg);
- $E_{EBM}$  = domanda di energia per unità di peso del materiale depositato (MJ/kg);
- $m_w$  = massa dei rifiuti di materiale a seguito dell'EBM (kg);
- $m_{part}^{EBM}$  = massa dei componenti realizza con EBM (kg);
- $E_{WEDM}$  = energia necessaria per rimuovere i supporti/ energia necessaria per il processo di taglio (MJ/kg);
- $mw^{WEDM}$  = massa di materiale di scarto a seguito del taglio (kg);
- $m_{part}^{WEDM}$  = massa del componente a seguito del taglio (kg);
- $E_{FM}$  = energia necessaria per l'operazione di finitura (MJ/kg);
- $mA$  = massa di materiale di scarto a seguito del processo di finitura (kg);
- $m_{part}^{Final}$  = massa del componente finito (kg).

In riferimento a quanto riportato in Figura 58, la richiesta di energia primaria complessiva, per il processo di produzione EBM espresso in MJ/part, è riportata di seguito nell'equazione:

$$E^{AM} = mm^{AM} * E_E + mm^{AM} * E_A + mpwd * E_{EBM} + m_w^{WEDM} * E_{WEDM} + mA * E_{FM} \quad (2)$$

*Equazione 2 [89]*

#### 4.4.1.1 1. Fase di Produzione Materia Prima + 2. Fase di Atomizzazione

Nella Tabella 14 sono presenti i valori di energia incorporata (*embodied energy*) dalla materia prima, una lega di fusione in Ti-6Al-4V, tenendo conto dei benefici relativi al riciclaggio, ottenute tramite il *software CES Selector 2017* (v. 17.2.0) [89].

L'*embodied energy* rappresenta l'energia essenziale per il prodotto durante tutto il suo *life cycle*, ovvero: per la sua realizzazione, e si intende l'estrazione delle materie prime ed il trattamento delle stesse così da ottenere il prodotto finale; l'utilizzo, che comprende il trasporto del prodotto al luogo dove verrà impiegato; smaltimento, che può avvenire con demolizione, dismissione e riciclo.

	Min	Max	Valore Medio
Energia incorporata $E_E$ , produzione primaria (MJ/kg)	653	720	686,50
Energia incorporata $E_E$ , approccio recycled content (MJ/kg)	527,5	581,7	554,60
Energia incorporata $E_E$ , substitution method (MJ/kg)	196,7	217	206,85

**Tabella 14.** Valori dell'energia incorporata dalla materia prima, tenendo conto dei benefici relativi al riciclaggio che possono verificarsi seguendo uno dei due possibili approcci riportati: - recycled content, - substitution method

In questa Tabella 14 sono riportati:

- il valore di energia nel caso di produzione primaria, non si sfrutta in alcun modo il riciclo di materiale;
- due dei possibili approcci che possono essere attuati così da ottenere i vantaggi relativi al riciclo.

1. *recycled content approach*, alloca tutti i benefici del riciclo nella parte in *input* del processo senza lasciare alcun beneficio nella parte finale, che infatti con questo metodo, viene trascurata. Secondo questo approccio quindi, l'utilizzo fin dall'inizio di materiali riciclati per la realizzazione di un nuovo prodotto, definisce in maniera naturale una sostanziale riduzione sull'impatto ambientale, vista la presenza del contenuto riciclato [90].

$$E_E = (1 - R)E_V + (R * E_R) + (1 - r)E_d \quad (3)$$

R = contenuto riciclato;

r = riciclabilità;

E<sub>E</sub> = impatto incorporato;

E<sub>R</sub> = impatti ottenuti dal materiale riciclato in *input*, per unità di materiale;

E<sub>V</sub> = impatti ottenuti dal materiale vergine in *input*, per unità di materiale;

E<sub>d</sub> = impatti ottenuti dallo smaltimento di materiale di scarto, per unità di materiale

2. *substitution method*, alloca tutti i benefici del riciclo in *output* (parlando così di “riciclabilità”); non lascia alcun beneficio nella parte iniziale, che infatti con questo metodo, viene trascurata [90].

$$E_E = rE_R + (1 - r)(E_V + E_d) \quad (4)$$

Dove:

R = contenuto riciclato;

r = riciclabilità;

E<sub>E</sub> = impatto incorporato;

E<sub>R</sub> = impatti ottenuti dal materiale riciclato in *input*, per unità di materiale;

E<sub>V</sub> = impatti ottenuti dal materiale vergine in *input*, per unità di materiale;

E<sub>d</sub> = impatti ottenuti dallo smaltimento di materiale di scarto, per unità di materiale

Nel documento redatto da Kellens et al., 2017, sono riportati i valori dei principali processi di atomizzazione, tra i quali quello di Morrow et al., 2007, che hanno condotto uno studio sul valore di consumo energetico specifico (SEC) per la produzione di 1 unità (stimata pari ad 1 kg) di polvere, intesa come materia prima.

La stima relativa al consumo energetico specifico richiesto per l'atomizzazione varia tra i 15 e i 26 MJ/kg [1] [23].

Serres et al., 2011, evidenziano un consumo energetico pari a 7,02 MJ e di gas argon 0,18 m<sup>3</sup>, per l'atomizzazione di 1 kg di polvere di Ti-6Al-4V impiegata per il processo di *Additive Manufacturing, Direct Additive Laser Manufacturing – DALM*, con un'efficienza di processo al 92,5% [91].

Per ciò che riguarda invece l'atomizzazione di polvere di Ti-6Al-4V impiegata nel processo di produzione EBM, Baumers et al., 2017, hanno stimato un fabbisogno energetico di 560,60 MJ/kg utilizzando una miscela di materiale vergine con il 22% di materiale riciclato [92].

In questo progetto di tesi, in particolare, per 1 kg di polvere di Ti-6Al-4V, impiegato nella lavorazione con EBM, sono stati considerati i valori riportati nello studio condotto da Priarone et al., 2018, che prevede un consumo di elettricità pari a 6,6 kWh e 5,5 m<sup>3</sup> di Argon, con un'efficienza di processo del 97% ( $y_A = 1,03$ ).

Il consumo energetico specifico per la produzione di Argon non è stato considerato. L'energia primaria ( $E_A$ ) necessaria per l'atomizzazione della polvere di Ti-6Al-4V è stata stabilita per un valore pari a **70 MJ/kg**, valore che per ciascun campione viene moltiplicato per l' $m_{m^{AM}}$  corrispondente, ottenendo così il valore di  $E_A$  espresso in MJ [89].

Nella Tabella 15 i valori riportati si riferiscono a:

- massa finale ottenuta dalla fase di produzione materia prima  $m_{m^{AM}}$ , espressa in kg;
- energia richiesta durante la fase di atomizzazione  $E_A$  espressa in MJ/kg;
- masse del materiale di scarto  $m_{w^{pp}}$  e finale  $m_{pwd}$  della fase di atomizzazione, espresse in kg.

In particolare, i valori delle masse sono calcolati secondo le seguenti equazioni:

$$\begin{aligned} & \text{Equazione 5 [89]} \\ m_{m^{AM}} &= y_A * m_{pwd} \end{aligned} \quad (5)$$

Dove  $y_A$  rappresenta, il rapporto tra il quantitativo di materiale in peso in *input* e quello in *output* ( $y_A = 1,03$ ) [89].

$$\begin{aligned} & \text{Equazione 6} \\ m_{w^{pp}} &= m_{m^{AM}} - m_{pwd} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \text{Equazione 7} \\ m_{pwd} &= m_{part^{EBM}} + m_w \end{aligned} \quad (7)$$

Dove  $m_w$  è la massa dei rifiuti di materiale a seguito dell'EBM (kg).

Si tratta quindi di polvere che non può più essere riutilizzata, ragion per cui, rappresenta uno scarto.

Campione	Materia Prima $m_{m^{AM}}$ (kg)	Scarto dall'Atomizzazione $m_{w^{pp}}$ (kg)	Polvere per EBM $m_{pwd}$ (kg)	Energia Atomizzazione $E_A$ (MJ/kg)
01	0,179	0,005	0,174	70
03	0,299	0,009	0,291	70
05	0,413	0,012	0,401	70
07	0,410	0,012	0,399	70
09	0,251	0,007	0,244	70
10	0,254	0,007	0,247	70

*Tabella 15. Valori relativi al processo di atomizzazione in termini di consumo energetico, massa finale e del materiale scartato; valori relativi al processo di produzione materia prima in termini di massa finale.*

#### 4.4.1.2 Fase di produzione con EBM

La massa di polvere necessaria per l'EBM ( $m_{pwd}$ ) deve tenere conto della massa del componente che si ottiene ( $m_{part^{EBM}}$ ) e della massa dei rifiuti di materiale ( $m_w$ ), che possono essere ricollegati al filtraggio con setaccio, ai residui accumulati nel sistema di filtraggio e alle formazioni di aerosol [89].

Nel seguente progetto di tesi, la macchina utilizzata per la produzione dei campioni in EBM è il modello Arcam A2X che lavora principalmente leghe di titanio; lavora con una potenza che va dai 50 ai 3000 W, con un'accuratezza fino a 0,13 mm e permette di stampare oggetti di dimensioni fino a 20x20x38 cm.

Nella Figura 59 è fornita una panoramica dei valori di energia specifica consumata (SEC) rintracciata in letteratura, per i diversi processi di *Additive Manufacturing*; i valori sono riportati in MJ/kg e sono relativi alla domanda di energia elettrica.

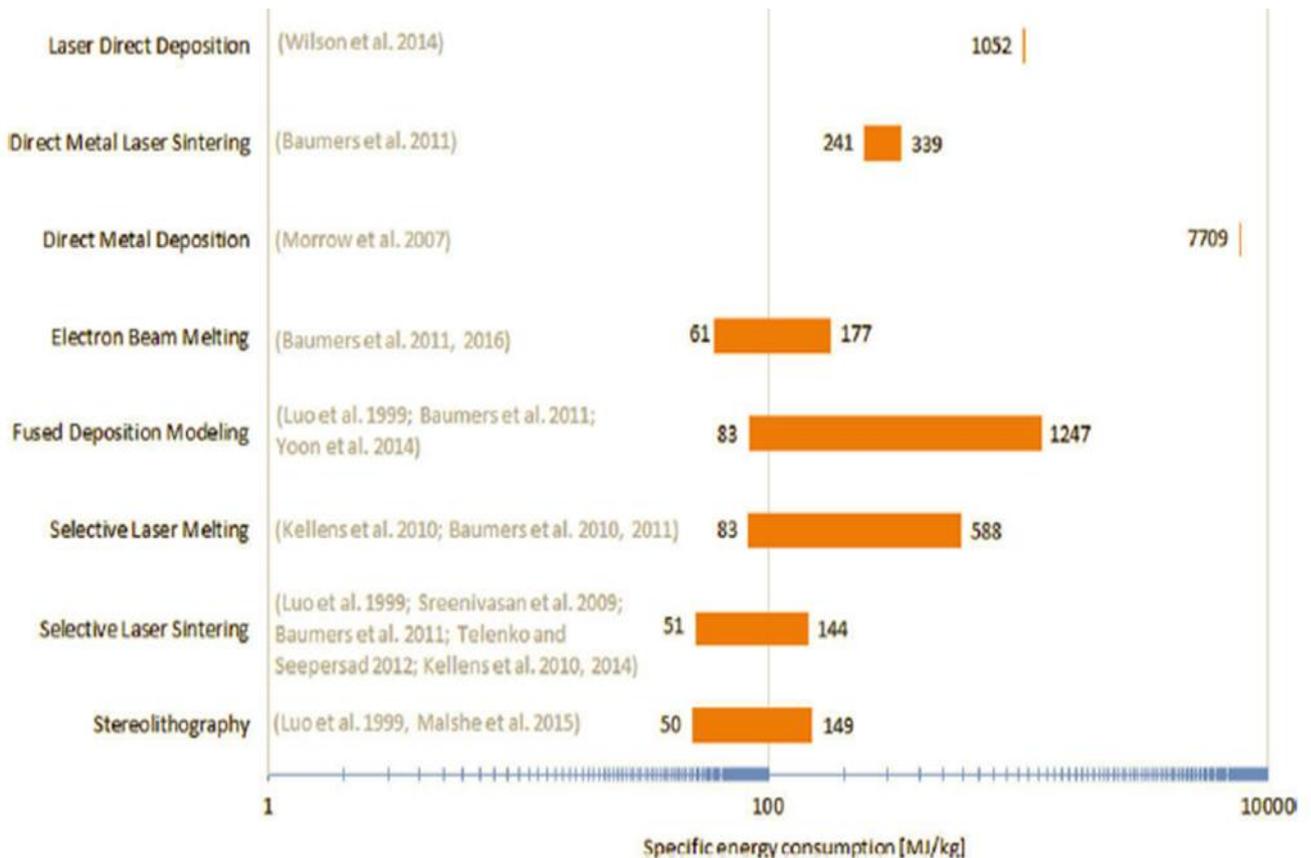


Figura 59. Valori di energia specifica richiesta per la realizzazione dei vari processi di AM [1]

Nel caso specifico, in Tabella 16 sono riportati i valori di energia e di massa relativi alla fase di produzione realizzata con EBM; i valori di energia riportata comprendono sia l'energia richiesta durante la fase di creazione del vuoto e sia quella richiesta in fase di costruzione.

La massa di polvere necessaria per la produzione con AM  $m_{pwd}$  è stata calcolata per ciascun campione seguendo l'equazione (7), dove  $m_w$ , massa dei rifiuti di materiale a seguito dell'EBM (kg), è l'insieme dei seguenti contributi:

- Polvere rimasta nel setaccio e nel filtro durante la costruzione di tutti e 10 i campioni (i sei campioni oggetto della tesi, sono stati costruiti e successivamente tagliati insieme ad altri 4 campioni);
- Polvere rimasta intrappolata nelle cavità della macchina durante la realizzazione dei campioni cresciuti a 45°.

Il valore energetico  $E_{EBM}$  è stato calcolato considerando i contributi di entrambe le macro-fasi in cui è stato diviso il processo EBM: Creazione del Vuoto e Costruzione vera e propria, ottenendo

il risultato in Wh; questo è stato poi convertito in MJ e diviso per la massa totale di tutti e 10 i campioni realizzati con EBM,  $m_{part}^{EBM}$  (kg), così da ottenere il risultato in MJ/kg.

Il valore energetico definitivo  $E_{EBM}$  (MJ/kg), rappresenta l'energia di produzione espressa in MJ elettrici; affinché si possa realizzare il confronto tra i valori di energia incorporata ed energia di processo, è necessario convertire l'energia elettrica in energia primaria, assumendo un valore di conversione fissato a livello europeo pari a 0,38 [93].

È fondamentale quindi che il valore  $E_{EBM}$  di ciascun campione, venga diviso per il fattore di conversione 0,38.

Campione	Polvere per EBM $m_{pvd}$ (kg)	Scarto $m_w$ (kg)	Massa Finale $m_{part}^{EBM}$ (kg)	Energia $E_{EBM}$ (MJ/kg)
01	0,174	0,013	0,160	535,582
03	0,291	0,132	0,159	535,582
05	0,401	0,241	0,159	535,582
07	0,399	0,240	0,158	535,582
09	0,244	0,120	0,124	535,582
10	0,247	0,122	0,124	535,582

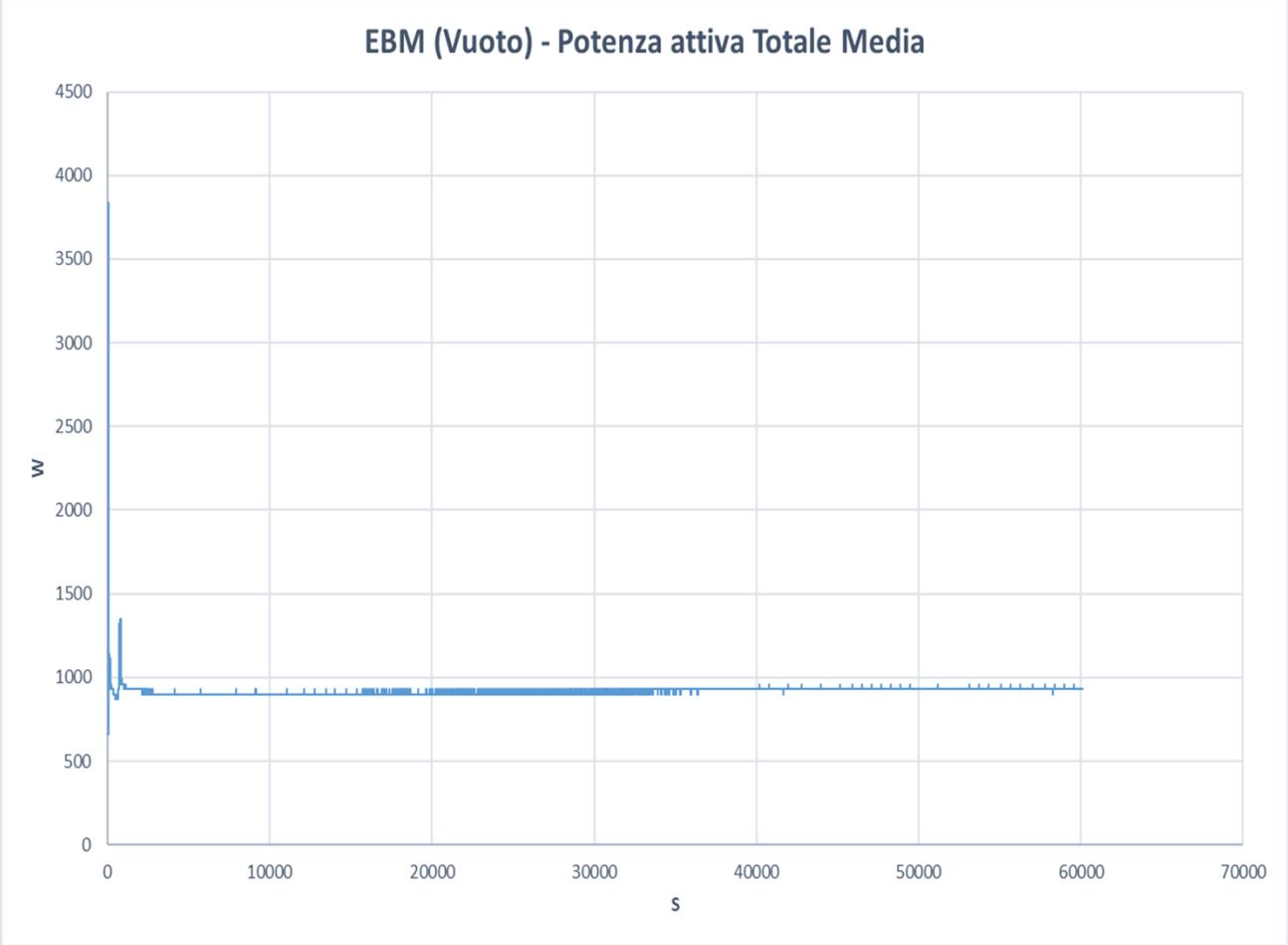
*Tabella 16. Valori relativi al processo di produzione EBM in termini di consumo energetico, MJ/kg olioequivalenti, massa finale e del materiale scartato, in kg.*

Per il processo EBM è stato realizzato in dettaglio l'andamento della Potenza Attiva Totale Media (W), dividendo il processo in due fasi:

1. Creazione del vuoto (Figura 60);
2. Costruzione vera e propria (Figura 61).

Per la fase di Costruzione vera e propria è stata realizzata un'ulteriore suddivisione in intervalli di tempo (Figura 61), riportati a seguire.

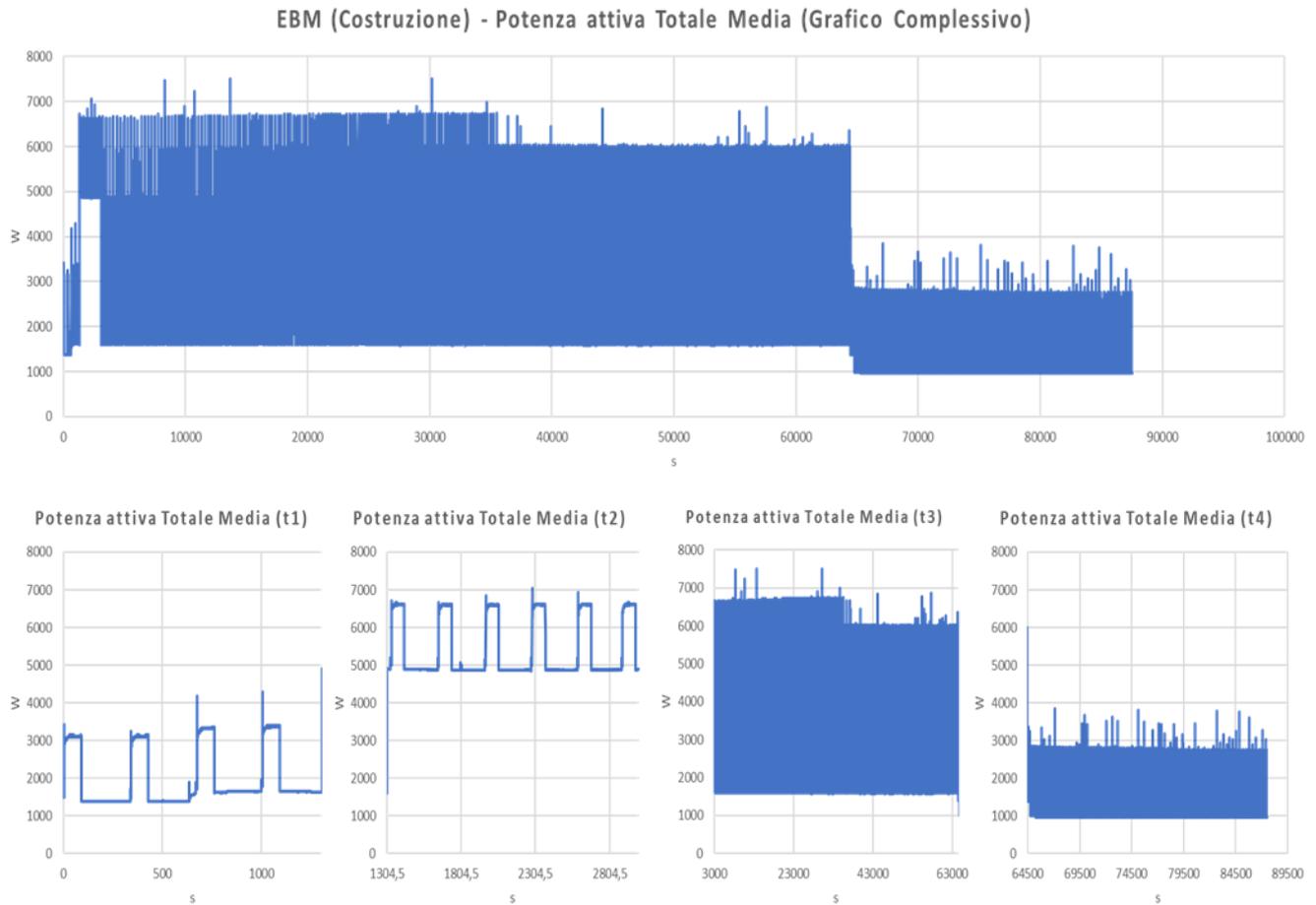
La fase di generazione del vuoto, si ottiene al raggiungimento della pressione di  $10^{-5}$  Pa nella camera di lavoro, per un tempo pari a  $\cong 1,5$  h; il resto del tempo può essere identificato come: fase di accensione della macchina e fine processo.



*Figura 60. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di produzione EBM nella fase di generazione del vuoto*

Per ciò che riguarda la fase di “Costruzione” invece, l’andamento della Potenza Attiva Totale Media (W) è stato suddiviso in quattro intervalli, che equivalgono a:

- t1, accensione della macchina e attesa dei comandi da parte dell’operatore (*Ready To Operate, RTO*);
- t2, riscaldamento della camera di lavoro;
- t3, realizzazione del processo vero e proprio;
- t4, fine del processo.



**Figura 61.** Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di produzione EBM nella fase di costruzione, con suddivisione dell’andamento in quattro intervalli di tempo (t1, t2, t3, t4)

Partendo dai grafici della Potenza Attiva Totale Media (W) (Figura 60, 61) e calcolando l’integrale dell’area sottesa dal grafico, è stato possibile risalire al valore di Energia richiesta; il valore complessivo per l’intero processo, espresso in MJ/kg, è riportato per ciascun campione nella Tabella 16, mentre in Tabella 17 è riportato il valore di Energia Cumulata (Wh) per la fase di creazione vera e propria, suddivisa per intervalli di tempo.

	Energia cumulata (Wh)							
	t1		t2		t3		t4	
EBM - Costruzione	1304,5 s	712,36	1695,5 s	2545,24	61500 s	57283,12	23010,5 s	10029,45

**Tabella 17.** Valori Energetici in (Wh) per la fase di costruzione vera e propria del processo EBM suddivisi in intervalli temporali

#### 4.4.1.3 Fase di Taglio WEDM

Nella fase di taglio con WEDM (cfr. Paragrafo 2.1.3.1), vengono rimosse le strutture di supporto con una perdita di massa pari a ( $m_s$ ), più una quantità di particelle per un valore pari a ( $m_{pc}$ ), che generano uno scarto di materiale:

$$\text{Equazione 8} \\ m_s + m_{pc} = m_w^{WEDM}$$

Campione	Scarto $m_w^{WEDM}$ (kg)	Massa Finale $m_{part}^{WEDM}$ (kg)
01	0,037	0,124
03	0,035	0,124
05	0,047	0,112
07	0,047	0,111
09	0,010	0,114
10	0,009	0,116

Tabella 18. Valori relativi al processo di taglio WEDM in termini di massa finale e del materiale scartato

Dove:

$$\text{Equazione 9} \\ m_w^{WEDM} = m_{part}^{EBM} - m_{part}^{WEDM} \quad (8)$$

Il processo di taglio è stato realizzato a coppie, per cui, il valore di energia  $E_{WEDM}$  per ciascun campione, è stato calcolato considerando l'energia cumulata per un certo intervallo di tempo, ottenendo un valore in Wh, che poi è stato convertito in MJ e diviso per due.

Vista l'esistenza dei due *job*, il valore di energia necessaria per il taglio WEDM, da inserire nell'equazione (2), è stata stimata come la media tra l'energia del processo di taglio *job* 1 e quella del *job* 2, ottenendo un valore definitivo in MJ/kg, ottenuto dividendo l'energia in MJ per la media della massa in kg, al termine del processo di taglio,  $m_{part}^{WEDM}$ , di tutti e 10 i campioni costruiti con EBM.

Campione	Energia Taglio 1 Job $E_{WEDM}$ (MJ)	Energia Taglio 2 Job $E_{WEDM}$ (MJ)	Energia Media Taglio $E_{WEDM}$ (MJ/kg)
01	4,229	2,609	29,219
03	4,229	2,683	29,534
05	1,662	1,007	11,404
07	1,395	0,991	10,196
09	1,198	0,845	8,729
10	1,198	0,845	8,729

Tabella 19. Valori energetici espressi in MJ elettrici relativi al processo di taglio WEDM

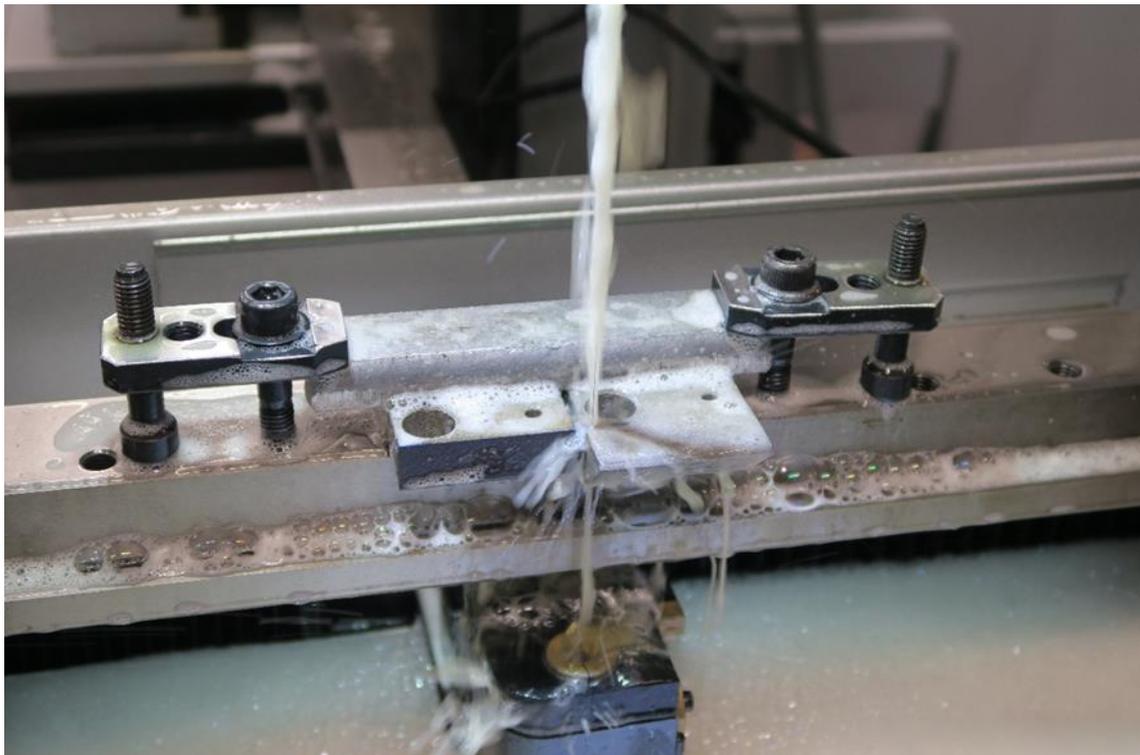
Come già anticipato per le fasi precedenti, il calcolo finale viene condotto ragionando in MJ olioequivalenti, cioè in termini di energia primaria, per cui il valore in MJ/kg ottenuto, deve essere diviso per il fattore di conversione 0,38 [93].

Campione	Energia Media Taglio $E_{WEDM}$ (MJ/kg)
01	76,893
03	77,721
05	30,012
07	26,831
09	22,971
10	22,971

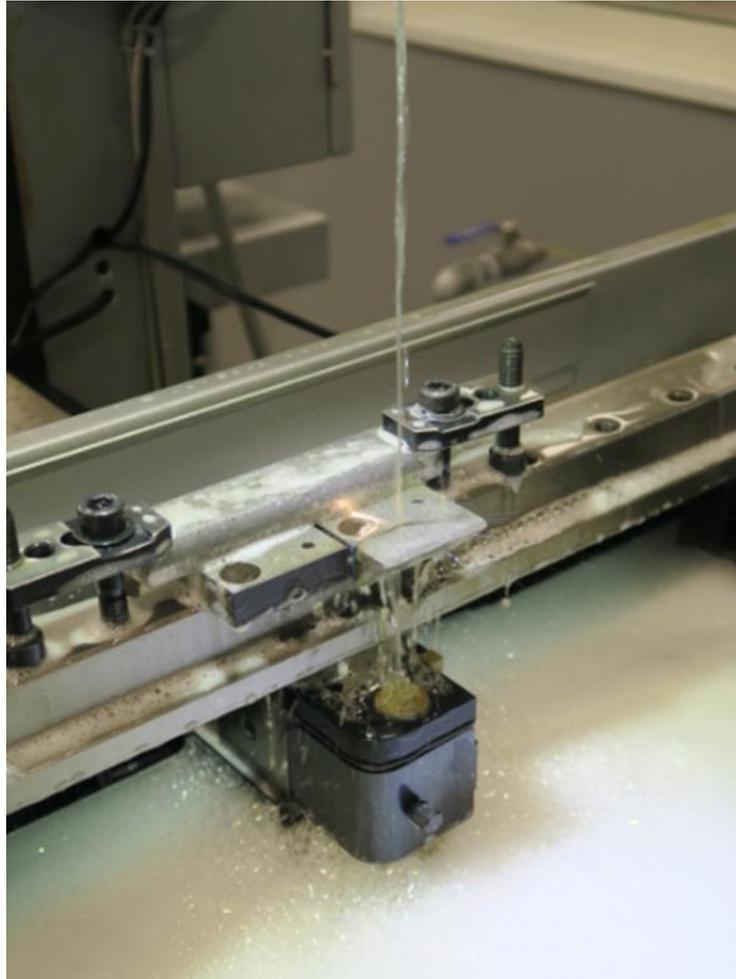
Tabella 20. Consumo energetico espresso in termini di energia primaria, MJ/kg olioequivalenti, per ciascun campione



*Figura 62. Macchina per il processo di taglio Wire EDM*



*Figura 63. Processo di taglio Wire EDM*



*Figura 64. Scintilla del processo di taglio Wire EDM*

Di seguito è riportato l'andamento della Potenza Attiva Totale Media in W, del processo di taglio *Wire EDM*, eseguito in due job su tutti i campioni.

Nei grafici (Figure 65-74) è evidente che il taglio viene eseguito a coppie, coppie di campioni che sono cresciuti secondo lo stesso orientamento, e tra queste sono presenti altri quattro campioni (02, 04, 06, 08) che sono stati ottenuti dallo stesso processo EBM da cui sono stati realizzati i sei campioni che sono oggetto della seguente attività di tesi.

Come per la fase di costruzione vera e propria del processo EBM, anche per il taglio WEDM, l'andamento della Potenza Attiva Totale Media (W) è stato suddiviso per ciascuna coppia in tre intervalli, che equivalgono a:

- t1, accensione della macchina e attesa dei comandi da parte dell'operatore (*Ready To Operate*, RTO);
- t2, fase di lavoro effettiva della macchina;
- t3, fine del processo.

Nella valutazione dell'energia durante il processo di taglio WEDM si sono considerati diversi intervalli di t3 che rappresentano le operazioni di post *processing* in fase di *stand-by*. Allo stato attuale del lavoro non è stata effettuata però l'ottimizzazione di questa fase di post *processing*, pertanto, su alcuni campioni è ragionevole supporre che esista una sovrastima dei risultati in termini di energia consumata. Tuttavia, questo non comporta variazioni nella discussione dei risultati.

Anche nel caso del WEDM, per ciascuno degli intervalli, oltre l'andamento della Potenza Attiva Totale Media, è stato possibile determinare il valore dell'Energia consumata, ottenuta tramite il calcolo dell'integrale dell'area sottesa dal grafico; in Tabella 20 è quindi riportato il valore dell'Energia cumulata richiesta durante tale processo, che è stata ottenuta dalla somma dei vari valori di energia che si erano ottenuti per ciascun intervallo.

Facendo un confronto tra i grafici in ciascun intervallo (Figure 65-74), per il primo e il secondo *job*, e le varie coppie, si nota un andamento che è più o meno sempre lo stesso.

## I Job

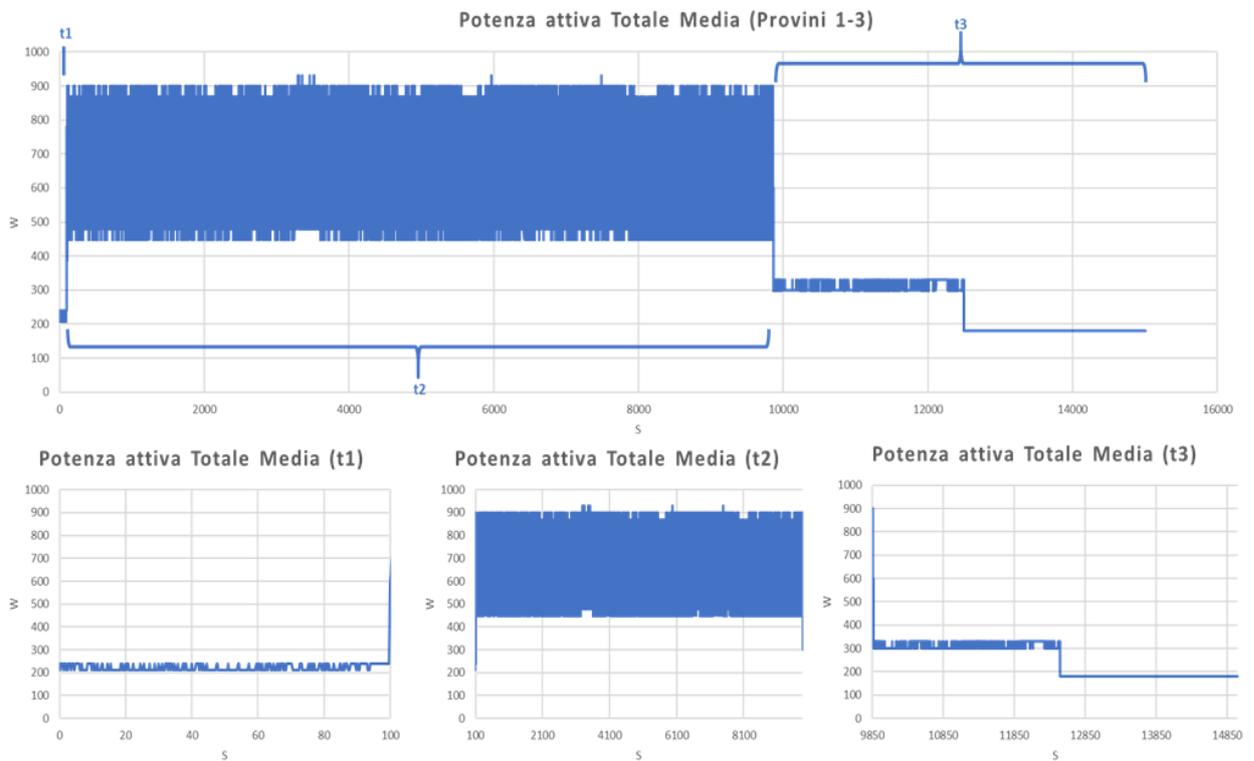


Figura 65. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di taglio WEDM I Job, per le coppie di Campioni (1-3) cresciuti verticalmente, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo (t1, t2, t3)

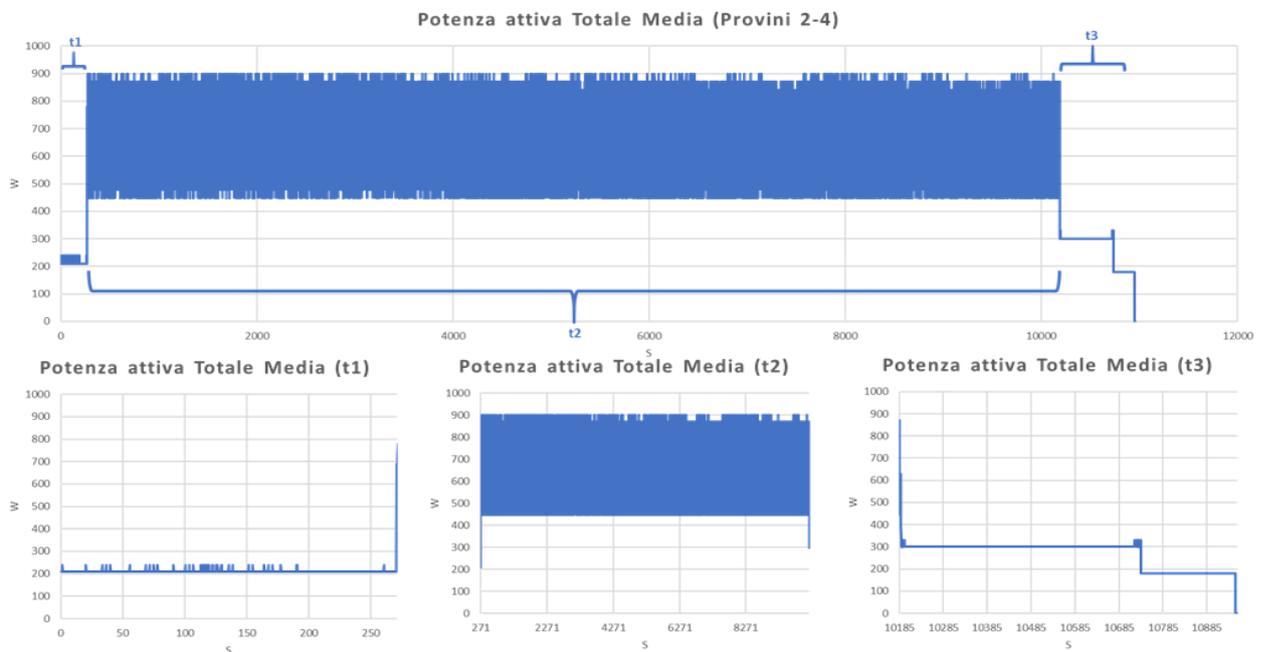


Figura 66. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di taglio WEDM I Job, per le coppie di Campioni (2-4) cresciuti verticalmente, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo (t1, t2, t3)

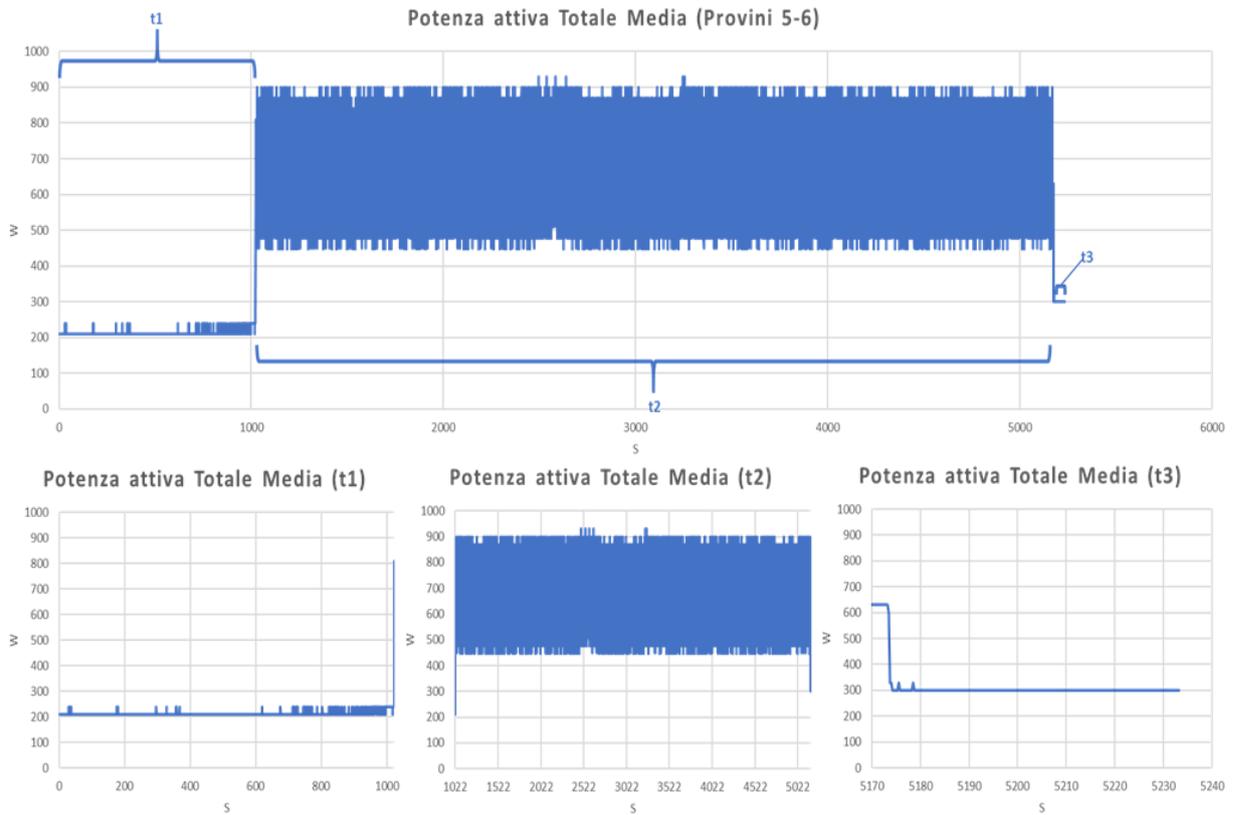


Figura 67. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media ( $W$ ) del processo di taglio WEDM I Job, per le coppie di Campioni (5-6) cresciuti a  $45^\circ$ , con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ )

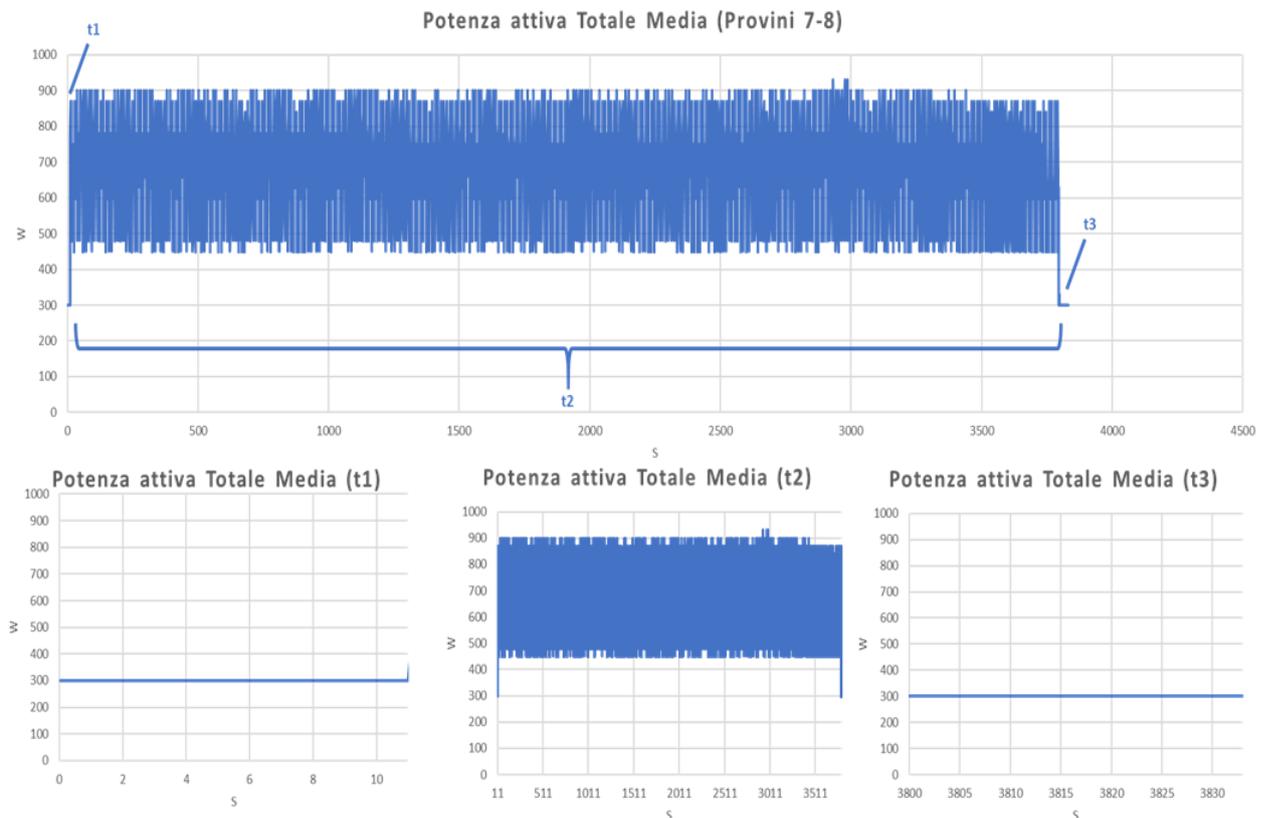
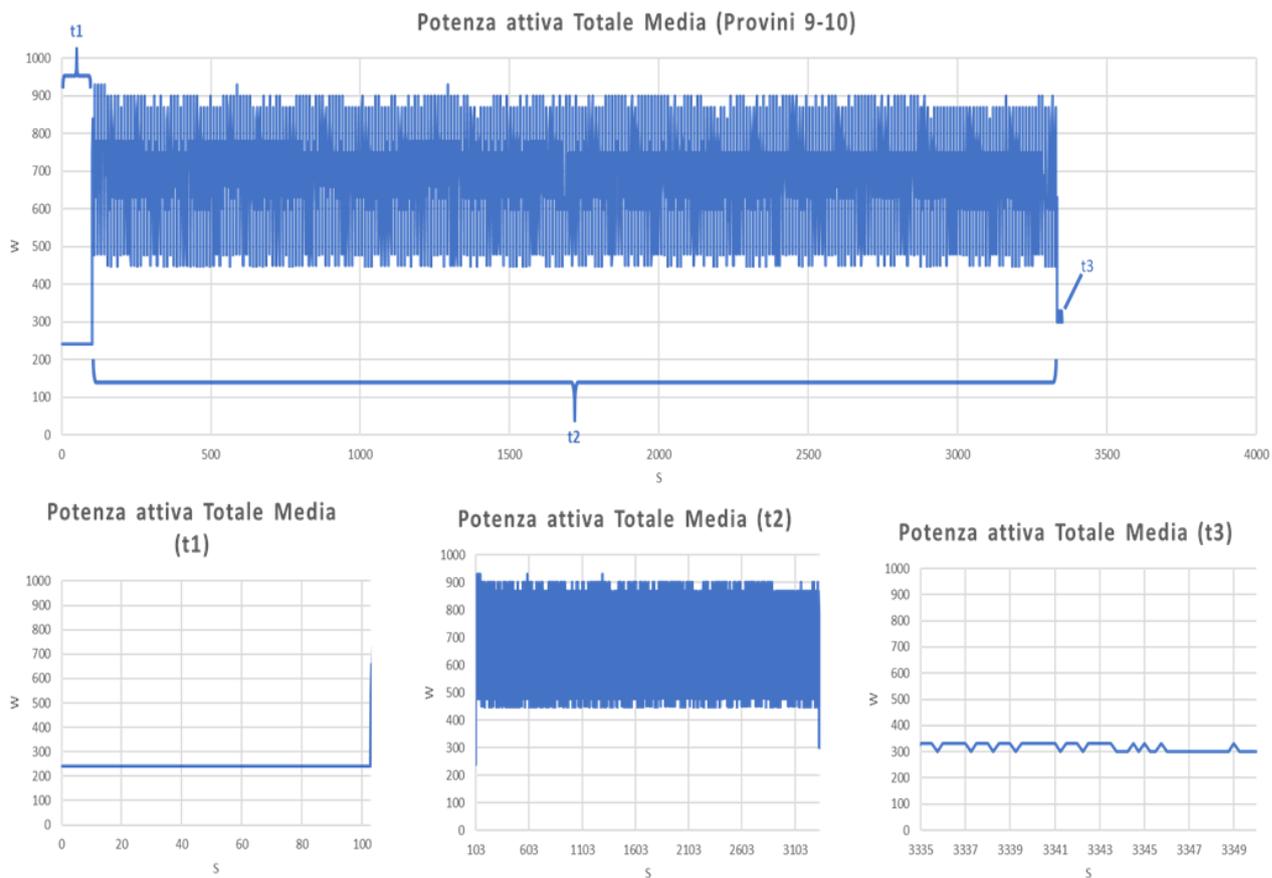


Figura 68. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media ( $W$ ) del processo di taglio WEDM I Job, per le coppie di Campioni (7-8) cresciuti a  $45^\circ$ , con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ )



**Figura 69. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di taglio WEDM I Job, per la coppia di Campioni (9-10) cresciuti orizzontalmente, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo (t1, t2, t3)**

Provini	Energia cumulata (Wh)					
	t1		t2		t3	
01-03 VRT	100 s	6,19	9750 s	1988,62	5153,5 s	354,64
02-04 VRT	270,75 s	15,88	9918 s	2010,46	765,75 s	56,34
05-06 45°	1022 s	60,21	4151,5 s	857,92	59,75 s	5,03
07-08 45°	11 s	0,92	3784 s	771,11	38 s	3,24
09-10 ORZ	102,75 s	6,85	3230,25 s	656,97	18,25 s	1,64

**Tabella 21. I Job: valori energetici in (Wh) consumati in ciascun intervallo di tempo in cui è stato suddiviso il processo di taglio WEDM, per ciascuna coppia di campioni**

## II Job

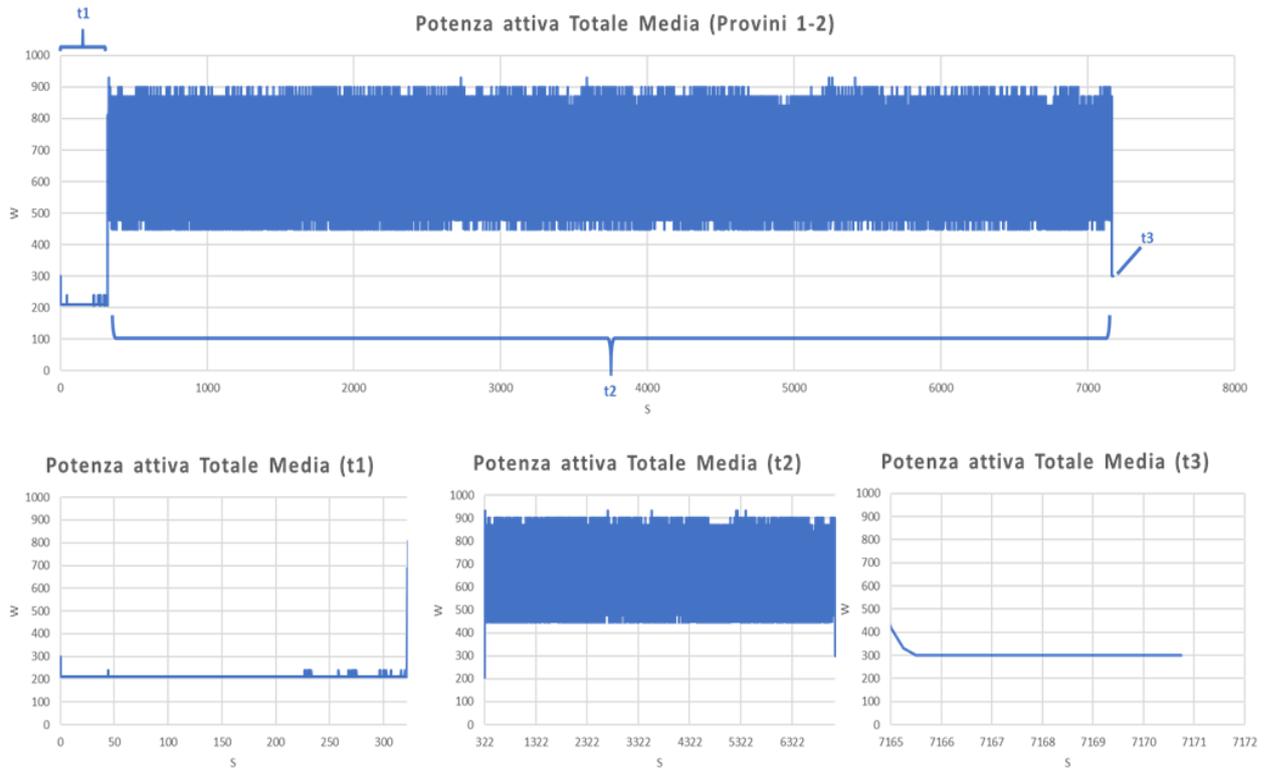


Figura 70. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media ( $W$ ) del processo di taglio WEDM II Job, per la coppia di Campioni (1-2) cresciuti verticalmente, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo ( $t1$ ,  $t2$ ,  $t3$ )

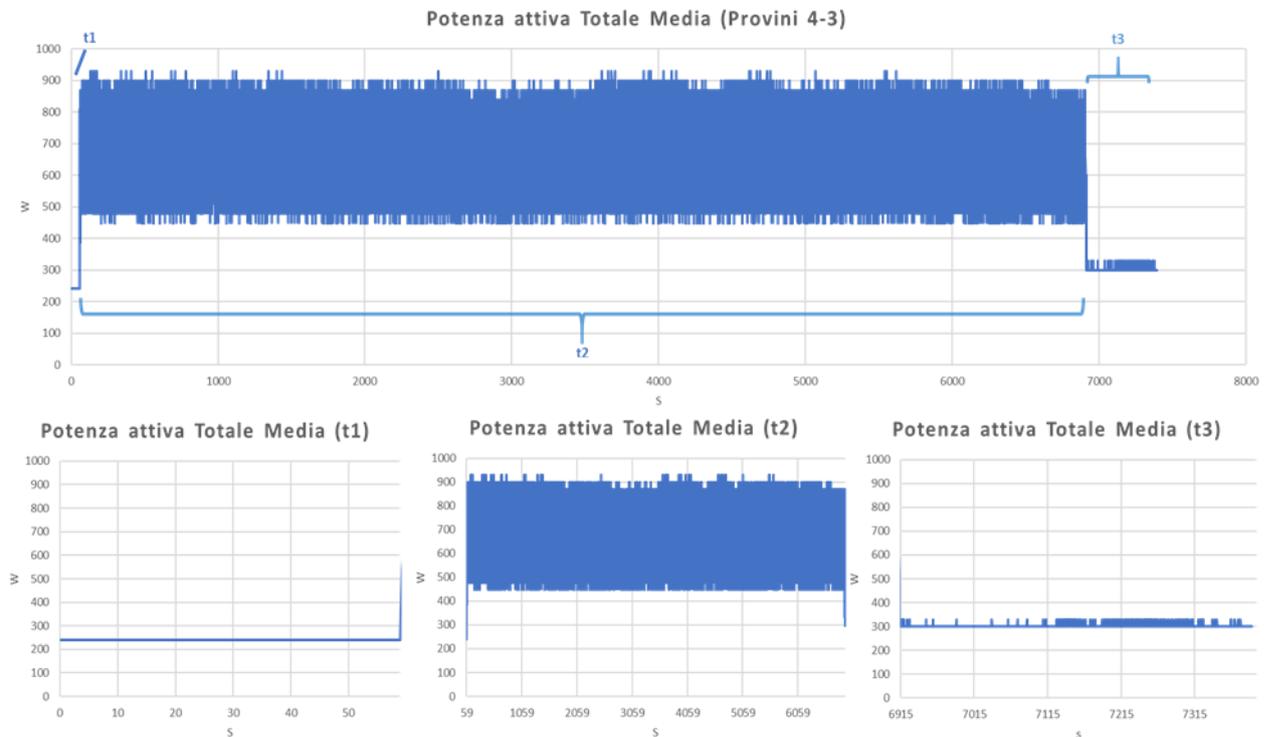


Figura 71. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media ( $W$ ) del processo di taglio WEDM II Job, per la coppia di Campioni (3-4) cresciuti verticalmente, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo ( $t1$ ,  $t2$ ,  $t3$ )

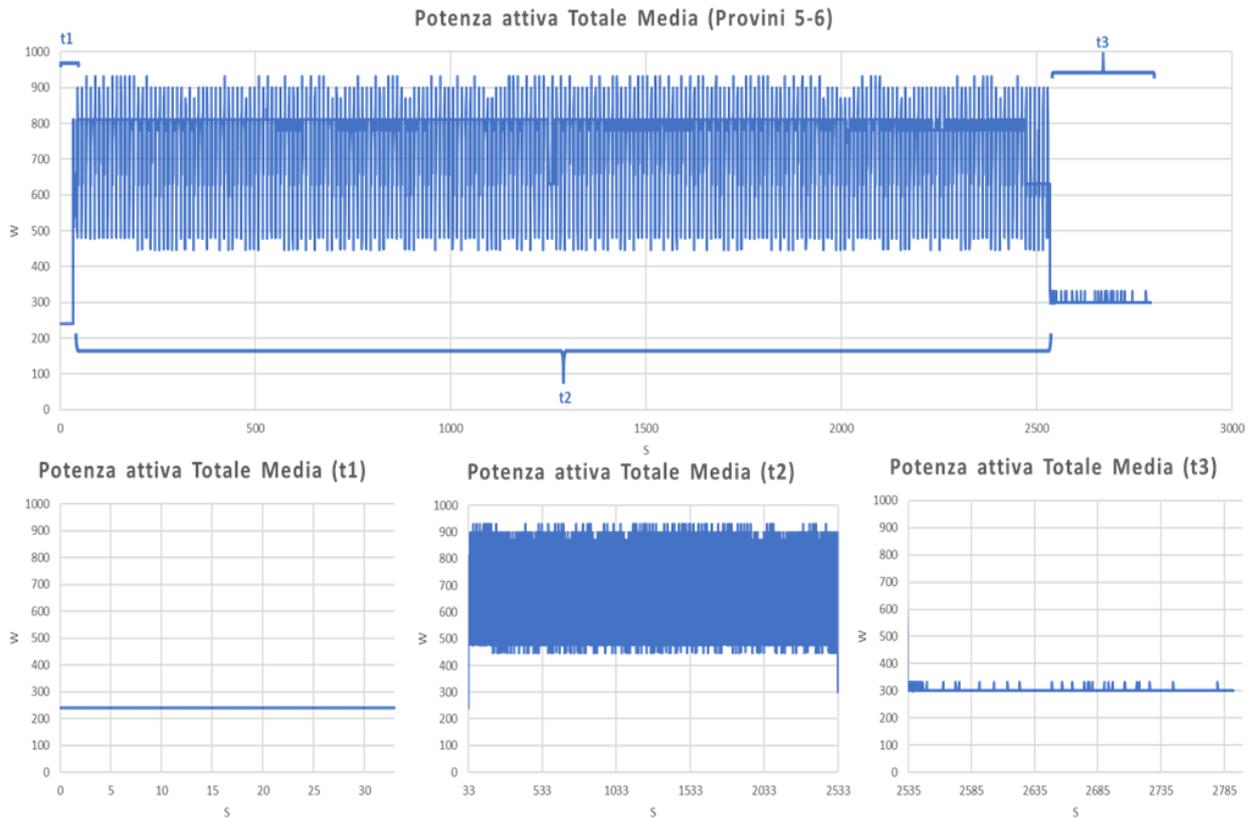


Figura 72. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media ( $W$ ) del processo di taglio WEDM II Job, per la coppia di Campioni (5-6) cresciuti a  $45^\circ$ , con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo ( $t1$ ,  $t2$ ,  $t3$ )

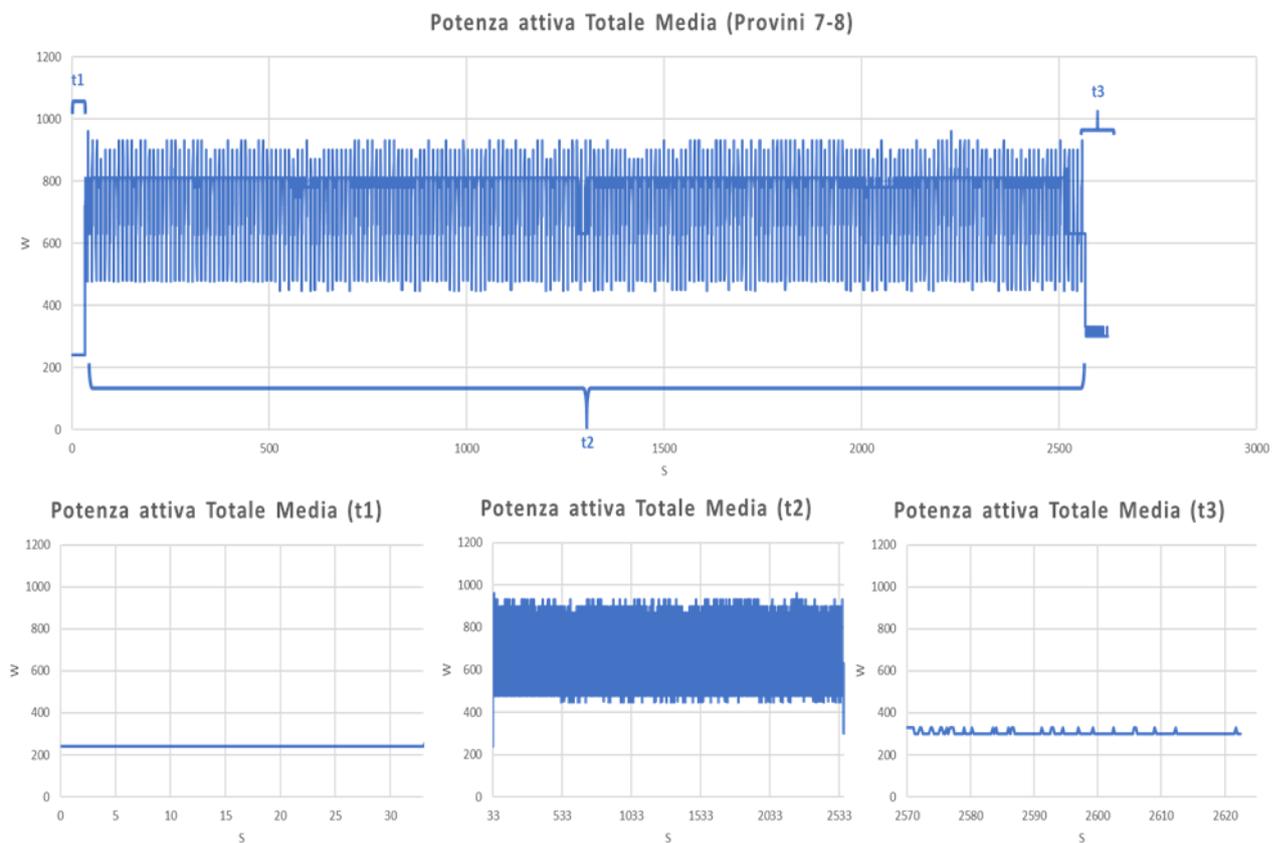
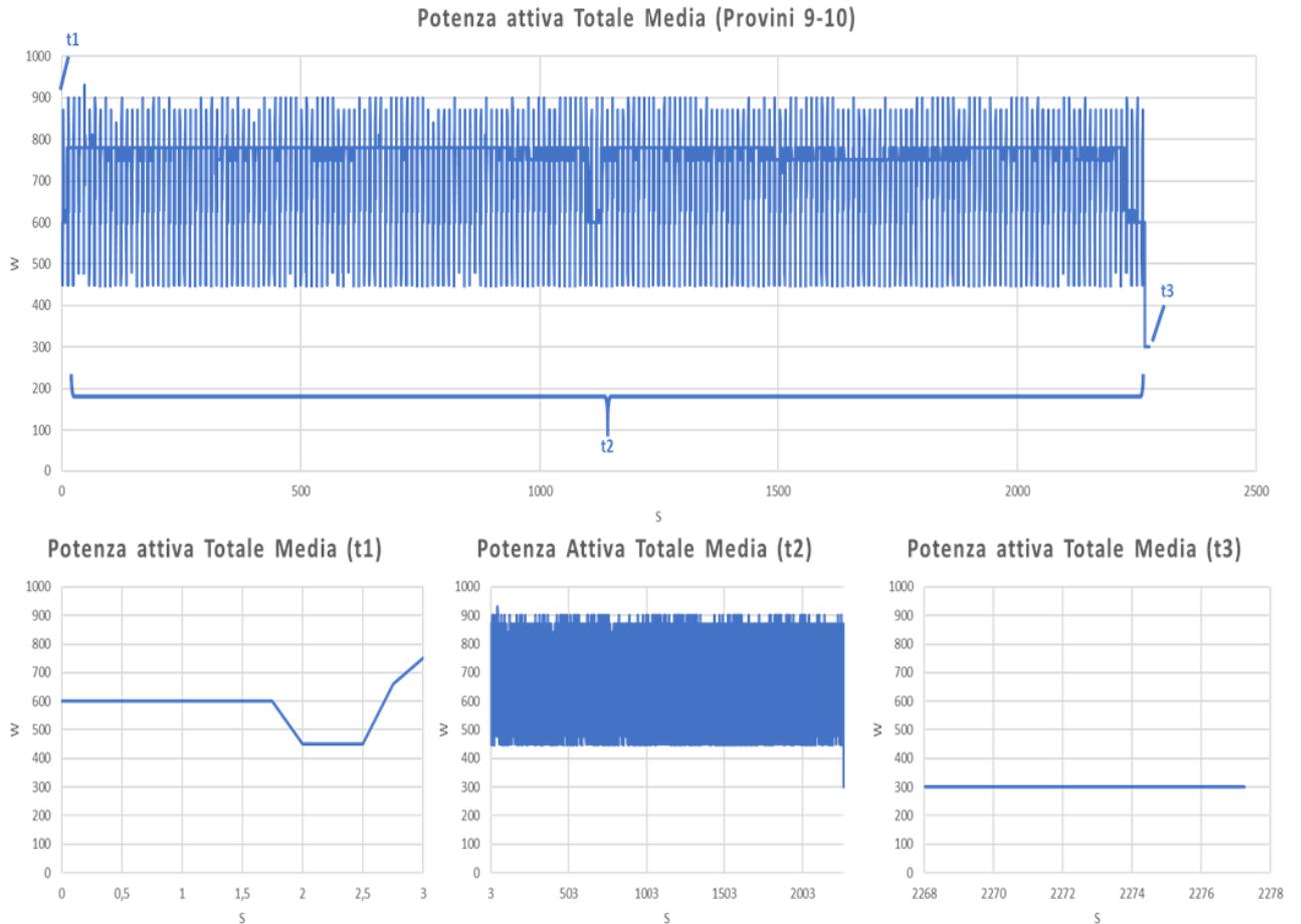


Figura 73. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media ( $W$ ) del processo di taglio WEDM II Job, per la coppia di Campioni (7-8) cresciuti a  $45^\circ$ , con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo ( $t1$ ,  $t2$ ,  $t3$ )



**Figura 74. Andamento complessivo della Potenza Attiva Totale Media (W) del processo di taglio WEDM II Job, per la coppia di Campioni (9-10) cresciuti orizzontalmente, con suddivisione dell'andamento in tre intervalli di tempo (t1, t2, t3)**

Provini	Energia cumulata (Wh)					
	t1	t2		t3		
01-02 VRT	322 s	18,87	6843 s	1430,24	5 s	0,56
03-04 VRT	59 s	3,93	6854 s	1446,11	479,75 s	40,55
05-06 45°	33 s	2,20	2501 s	535,76	258,25 s	21,69
07-08 45°	33 s	2,20	2533,75 s	543,39	55,75 s	4,79
09-10 ORZ	3 s	0,48	2265,5 s	468,04	8,75 s	0,95

**Tabella 22. II Job: valori energetici in (Wh) consumati in ciascun intervallo di tempo in cui è stato suddiviso il processo di taglio WEDM, per ciascuna coppia di campioni**

#### 4.4.1.4 Fase di Finitura con Vibrofinitura

La necessità di realizzare post trattamenti sulle parti ottenute con tecniche di Fabbricazione Additiva è molto elevata, al fine di ottenere tolleranze geometriche e caratteristiche superficiali concordi con quanto richiesto, per cui, è importante che gli oneri ad essi correlati vengano presi in considerazione quando si valuta il consumo dell'intero ciclo.

Nel caso specifico, i sei campioni, visti l'elevata rugosità superficiale, sono stati sottoposti ad un processo di finitura suddiviso in più *Test*.

In particolare, tutti e sei i campioni hanno subito tre processi iniziali di vibrofinitura:

- *Test 1*, con macchina vibratrice BF 100 BBSM, della durata di 50 h (48 h di levigante TIMIL, diluito per il 10% con una portata di 1 L/h e 2 ore di lucidante FBC 50, diluito per l'1,5% con una portata di 25 L/h);
- *Test 2*, con macchina vibratrice BF 30 USM, della durata di 8 h (7 h di levigante TIMIL, diluito su 2 L del 15% con l'aggiunta di 0,2 L ogni 2 ore e 1 ora di lucidante FBC 50, diluito per l'1,5% con una portata di 25 L/h);
- *Test 3*, con macchina vibratrice BF 30 USM, della durata di 7 h (6 h di levigante TIMIL, diluito per il 25% con una portata di circa 5 L/h e 1 ora di lucidante FBC 50, diluito per l'1,5% con una portata di 25 L/h).

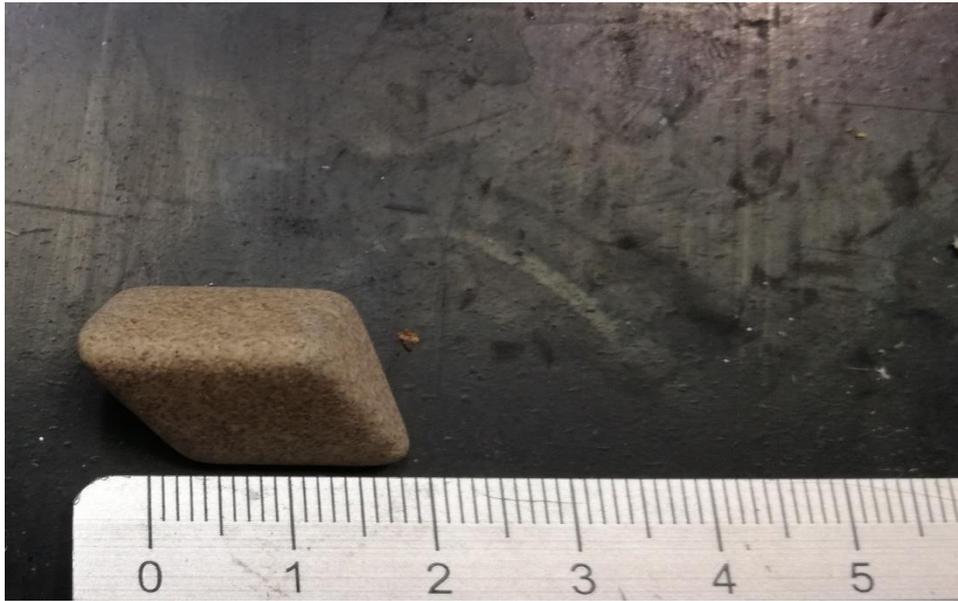
La Figura 75 riporta il tipo di abrasivo, a base ceramico, utilizzato in questi primi tre *Test*.



Figura 75. Abrasivo ceramico utilizzato nei Test 1,2,3

Al termine delle prove 1,2 e 3 sono stati raggiunti scarsi valori di asportazione, per cui si è deciso di proseguire seguendo però un altro approccio, testato sui campioni 01 (costruito verticalmente), 05 (cresciuto a 45°) e 09 (costruito in direzione orizzontale); i pezzi sono stati sottoposti ad un processo di sabbiatura, eseguito con corindone bianco grana 60 mm e ad una pressione  $P = 5$  bar, per una durata di circa 20 minuti ciascuno. Una volta conclusa la sabbiatura i campioni sono stati oggetto di un altro Test di vibrofinitura, denominato *Test 5*, della durata di 50 h (48 h di levigante TIMIL, diluito per il 10% con una portata di 1 L/h e 2 ore di lucidante FBC 50, diluito per l'1,5% con una portata di 25 L/h) con macchina vibratrice BF 100 BBSM.

In quest'ultimo test l'abrasivo utilizzato è ancora a base ceramica ed è riportato in Figura 76.



*Figura 76. Tipo di abrasivo utilizzato nel Test 5*

Finita l'ultima prova di finitura sono stati osservati buoni valori di asportazione e di rugosità (per i dati relativi alla rugosità cfr. Paragrafi 4.3.1, 4.3.2).

Valori non proprio ottimi sono stati rintracciati in corrispondenza dei fori, per i quali erano stati anche utilizzati degli inserti piccoli, che però tendevano ad incastrarsi, non permettendo anche di lavorare correttamente le superfici estese.

In tutti i *Test* di vibrofinitura si è utilizzata una macchina doppio bombata (sia all'interno che all'esterno), così da poter lavorare più pezzi allo stesso momento e permettere agli inserti un movimento più facilitato; questo garantisce una maggiore asportazione di materiale e consente di ottenere una migliore qualità superficiale degli articoli trattati.

L'ampiezza di vibrazione, che rappresenta l'energia con cui la macchina svolge il processo, nel caso specifico è stata di  $3/3\frac{1}{2}$ ; in Figura 77 è riportato il quadrante tramite il quale si legge tale valore, ovvero, quando la macchina vibra, si stabilisce l'ampiezza di vibrazione in corrispondenza della serie di cerchi che non si interseca in alcun modo.

La metodologia appena illustrata permette di ottenere valori più approssimati, per stime più puntuali bisogna utilizzare un apposito vibrometro.



Figura 77. Quadrante dal quale si stabilisce l'ampiezza di vibrazione, su un intervallo che va da 2 a 7

Anche per la fase di finitura, è stata stimata la quantità di energia necessaria ( $E_{FM}$ ), lo scarto di materiale ( $m_A$ ) ed il valore di massa finale ottenuto ( $m_{part}^{Final}$ ).

Di seguito, in Tabella 23, sono riportati i valori di massa finali  $m_{part}^{Final}$ :

<b>Campione</b>	<b>Scarto <math>m_A</math> (kg)</b>	<b>Massa Finale <math>m_{part}^{Final}</math> (kg)</b>
01	0,0025	0,1212
03	0,0008	0,1235
05	0,0048	0,1071
07	0,0014	0,1100
09	0,0027	0,1109
10	0,0008	0,1147

Tabella 23. Misure in kg delle masse degli scarti  $m_A$  e dei campioni  $m_{part}^{Final}$  considerando l'intero processo di finitura

Avendo a disposizione il valore di ciascun pezzo prima della finitura  $m_{part}^{WEDM}$  e dopo  $m_{part}^{Final}$ , è stato possibile calcolare molto semplicemente il valore della massa di scarto per ciascun campione  $m_A$  (cfr. Tabella 23), applicando una differenza tra questi valori.

Per ciò che riguarda il calcolo del consumo energetico, è stato considerato un valore costante di potenza del motore, pari a **0,75 kW**;

- **i Test 1,2,3** sono stati svolti su tutti e sei i campioni, riportando complessivamente una durata di 65 h, per cui il valore energetico, calcolato di seguito, è stato di:

Test 1

$$0,75 \text{ kW} * 50 \text{ h} = 37,50 \text{ kWh}$$

Test 2

$$0,75 \text{ kW} * 8 \text{ h} = 6 \text{ kWh}$$

Test 3

$$0,75 \text{ kW} * 7 \text{ h} = 5,25 \text{ kWh}$$

Si passa alla conversione dei valori da kWh in MJ, ottenendo:

<i>Test 1</i>	135 MJ
<i>Test 2</i>	21,6 MJ
<i>Test 3</i>	18,9 MJ

In particolare, è stato stimato per ogni ciclo un numero di particolari pari a 50, e considerando la media della somma delle masse finali ottenute  $m_{part}^{Final}$ , di tutti e sei i campioni trattati in questi primi tre *Test*, si ottiene:

<i>Test 1</i>	$\frac{135 \text{ MJ}}{50 \text{ pz} * 0,11458 \text{ kg}} = 23,564 \text{ MJ/kg}$
<i>Test 2</i>	$\frac{21,6 \text{ MJ}}{50 \text{ pz} * 0,11458 \text{ kg}} = 3,77 \text{ MJ/kg}$
<i>Test 3</i>	$\frac{18,9 \text{ MJ}}{50 \text{ pz} * 0,11458 \text{ kg}} = 3,299 \text{ MJ/kg}$

Considerando l'energia adoperata dal *Test 1* al *Test 3* si ottiene un consumo di 30,633 MJ/kg. Questo valore energetico però non rappresenta un valore di energia primaria, si tratta di MJ elettrici, motivo per cui è necessario dividerlo per il fattore 0,38, così da poter ragionare in termini di MJ olioequivalenti; il risultato della conversione porta ad un consumo pari a **80,613 MJ/kg**

- Il **Test 5**, realizzato sui campioni 01, 05, 09, è stato svolto per una durata totale di 50 h, il valore energetico corrispondente in kWh è di:

$$0,75 \text{ kW} * 50 \text{ h} = 37,50 \text{ kWh}$$

Che convertiti in MJ diventano 135 MJ.

Anche per quest'ultimo *Test* il numero di pezzi lavorabili per ogni ciclo è stato stimato pari a 50, e tenendo in considerazione la media della somma delle masse finali  $m_{part}^{Final}$  dei tre campioni oggetto di quest'ultima prova, si giunge al seguente risultato:

$$\frac{135 \text{ MJ}}{50 \text{ pz} * 0,11308 \text{ kg}} = 23,877 \text{ MJ/kg}$$

Si procede dividendo i MJ elettrici ottenuti, per il fattore di conversione 0,38, così da ottenere il valore di **62,834 MJ/kg** olioequivalenti.

Considerando quindi i contributi di tutti i *Test* realizzati, e ricordando che, i *Test 1,2,3* sono stati condotti su tutti e sei i campioni, mentre il *Test 5* ha riguardato i pezzi 1, 5 e 9, i consumi energetici per ciascun campione, riportati in Tabella 24 in MJ/kg, sono:

<b>Campione</b>	<b>Energia Finitura Test 1,2,3 (MJ/kg)</b>	<b>Energia Finitura Test 5 (MJ/kg)</b>	<b>Energia Finitura Totale EFM (MJ/kg)</b>
01, 05, 09	80,613	62,834	143,447
03,07,10	80,613		80,613

Tabella 24. Valori energetici del processo di finitura per ciascun campione

#### 4.4.2 Risultati

Avendo a disposizione i dati energetici e relativi alle masse, riepilogati in Tabella 25 e in Tabella 26, di tutte le fasi riportate nel ciclo in Figura 58, è possibile calcolare per ciascun campione e nel complesso, il valore di energia spesa, seguendo la formula dell'Equazione 2.

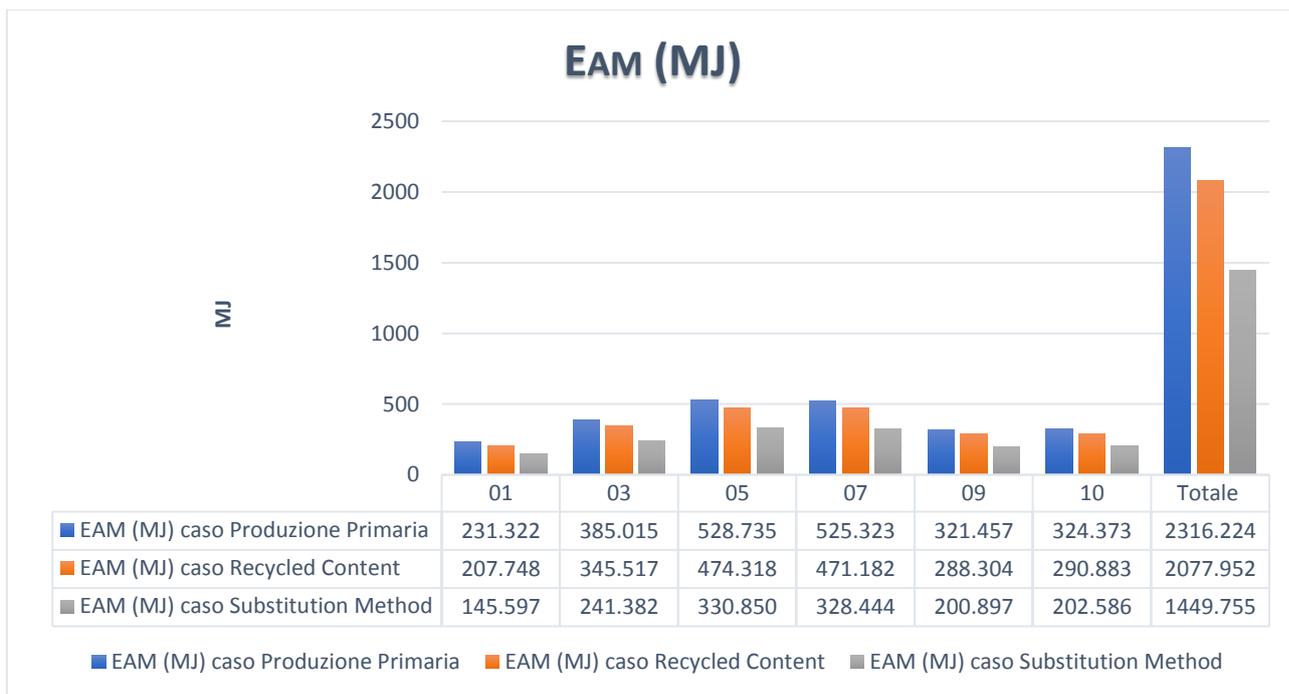
Per ogni componente la Figura 79 presenta tre valori di  $E^{AM}$ , in quanto il calcolo è stato effettuato per ciascuno, considerando il valore medio, riportato in Tabella 41, dei tre approcci illustrati nella fase di produzione della materia prima: produzione primaria, approccio *recycled content* e *substitution method*.

<b>Energie (MJ/kg)</b>							
Campione	Produzione Materia Prima			Atomizzazione	Electron Beam Melting	Wire EDM	Finitura
	<i>EE, produzione primaria</i>	<i>EE, recycled content</i>	<i>EE, substitution method</i>	EA	EEBM	EWEDM	EFM
01	686,5	554,6	206,85	70	535,582	76,893	143,447
03	686,5	554,6	206,85	70	535,582	77,721	80,613
05	686,5	554,6	206,85	70	535,582	30,012	143,447
07	686,5	554,6	206,85	70	535,582	26,831	80,613
09	686,5	554,6	206,85	70	535,582	22,971	143,447
10	686,5	554,6	206,85	70	535,582	22,971	80,613

Tabella 25. Tabella riepilogativa dei valori energetici in MJ/kg, di ciascuna fase del ciclo di realizzazione per ciascun campione

<b>Masse (kg)</b>									
Campione	Produzione Materia Prima	Atomizzazione		Electron Beam Melting		Wire EDM		Finitura	
	<i>mmAM</i>	<i>mpwd</i>	<i>mwpp</i>	<i>mpartEBM</i>	<i>mw</i>	<i>mpartWEDM</i>	<i>mwEDM</i>	<i>mpartFinal</i>	<i>mA</i>
01	0,179	0,174	0,005	0,160	0,013	0,124	0,037	0,121	0,0025
03	0,299	0,291	0,009	0,159	0,132	0,124	0,035	0,124	0,0008
05	0,413	0,401	0,012	0,159	0,241	0,112	0,047	0,107	0,0048
07	0,410	0,399	0,012	0,158	0,240	0,111	0,047	0,110	0,0014
09	0,251	0,244	0,007	0,124	0,120	0,114	0,010	0,111	0,0027
10	0,254	0,247	0,007	0,124	0,122	0,116	0,009	0,115	0,0008

Tabella 26. Tabella riepilogativa delle masse di scarto e finali, in kg, di ciascuna fase del ciclo di realizzazione per ciascun campione



**Figura 78. Domanda di energia primaria (MJ) relativa all'intero ciclo di realizzazione dei sei campioni costruiti tramite EBM; la suddivisione dei valori energetici è stata definita per campioni e sono stati considerati tutti e tre i possibili approcci eseguibili nella fase di produzione materia prima**

Come si evince da quanto riportato in Figura 79, la richiesta complessiva di energia primaria per l'intero ciclo di produzione dei componenti in EBM, riporta il valore più alto, di 2316,22 MJ, nel caso si decida di seguire l'approccio di produzione primaria, che non sfrutta in alcun modo il riciclo di materiale.

Al contrario invece, notevole è la differenza in termini energetici con il *substitution method*, che come già spiegato (cfr. Paragrafo 4.4.1.1) alloca i benefici del riciclaggio in *output*, permettendo quindi di realizzare una domanda di energia primaria, pari a 1449,76 MJ, piuttosto inferiore.

Con i dati a disposizione è stato possibile anche stimare l'impatto percentuale di ciascuna fase del ciclo (Figure 80-82), così da capire quale tra loro risulta la più dispendiosa in termini di domanda energetica.

Per questo confronto sono stati considerati tutti e tre i totali di  $E^{AM}$ , ottenuti considerando, come già precisato, i tre diversi approcci riportati nella fase di produzione della materia prima.

Nel caso specifico della fase di finitura, è necessario precisare l'ipotesi semplificativa relativa al consumo degli inserti, che è stato posto pari ad un  $\epsilon$  a piacere, minore dell'1%, ed un consumo trascurabile degli altri prodotti usati.

Energia incorporata  $EE$ , produzione primaria:

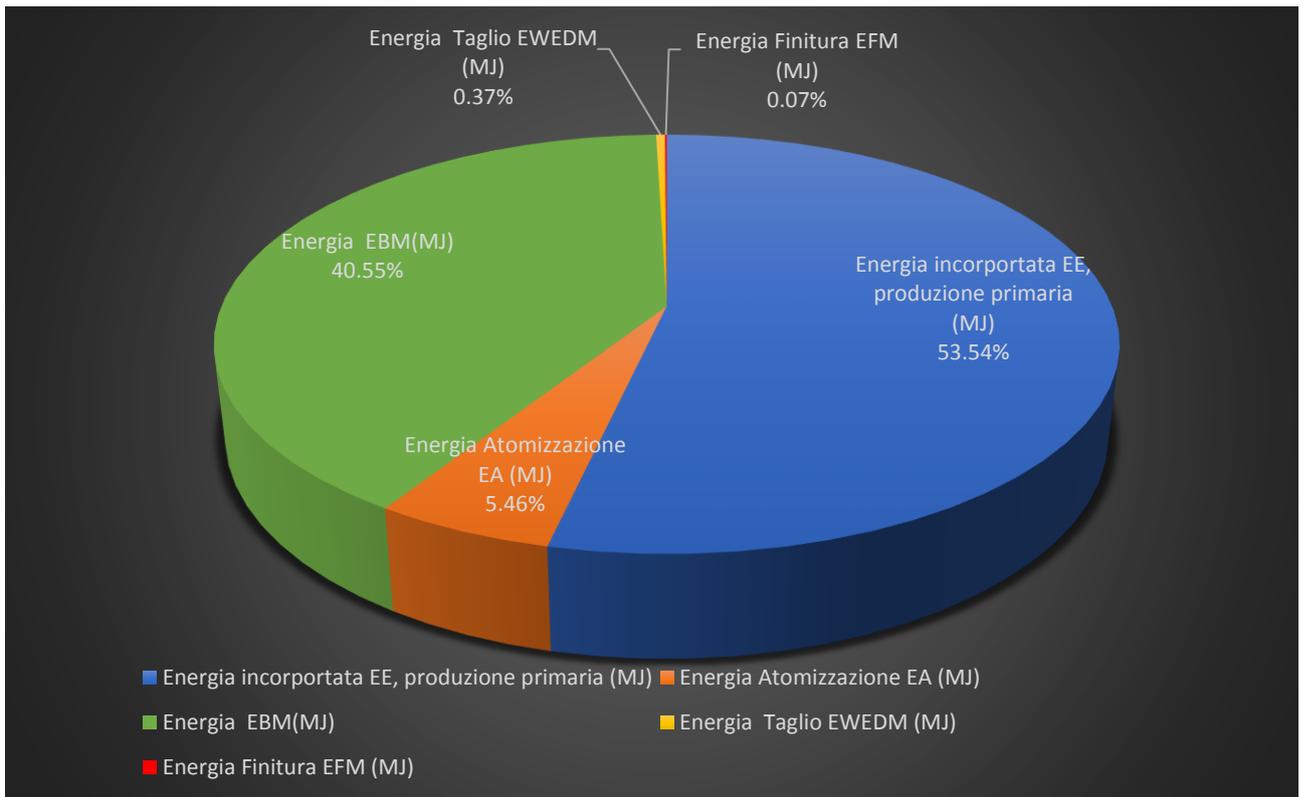


Figura 79. Impatto energetico percentuale di ciascuna fase del ciclo di realizzazione dei sei componenti rispetto alla richiesta complessiva di energia primaria  $E^{AM}$ , calcolata considerando l'approccio di produzione primaria

Energia incorporata  $EE$ , approccio recycled content:

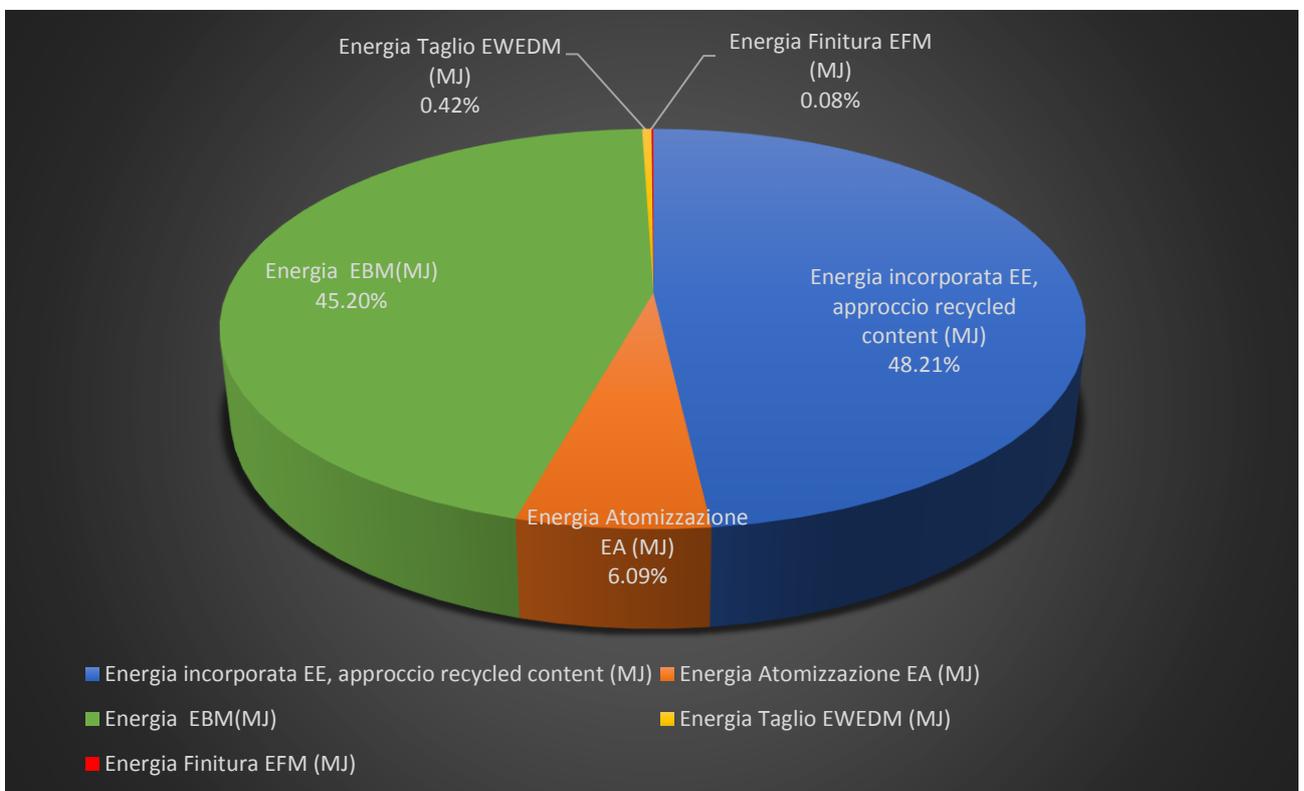


Figura 80. Impatto energetico percentuale di ciascuna fase del ciclo di realizzazione dei sei componenti rispetto alla richiesta complessiva di energia primaria  $E^{AM}$ , calcolata considerando l'approccio recycled content

Energia incorporata *EE*, *substitution method*:

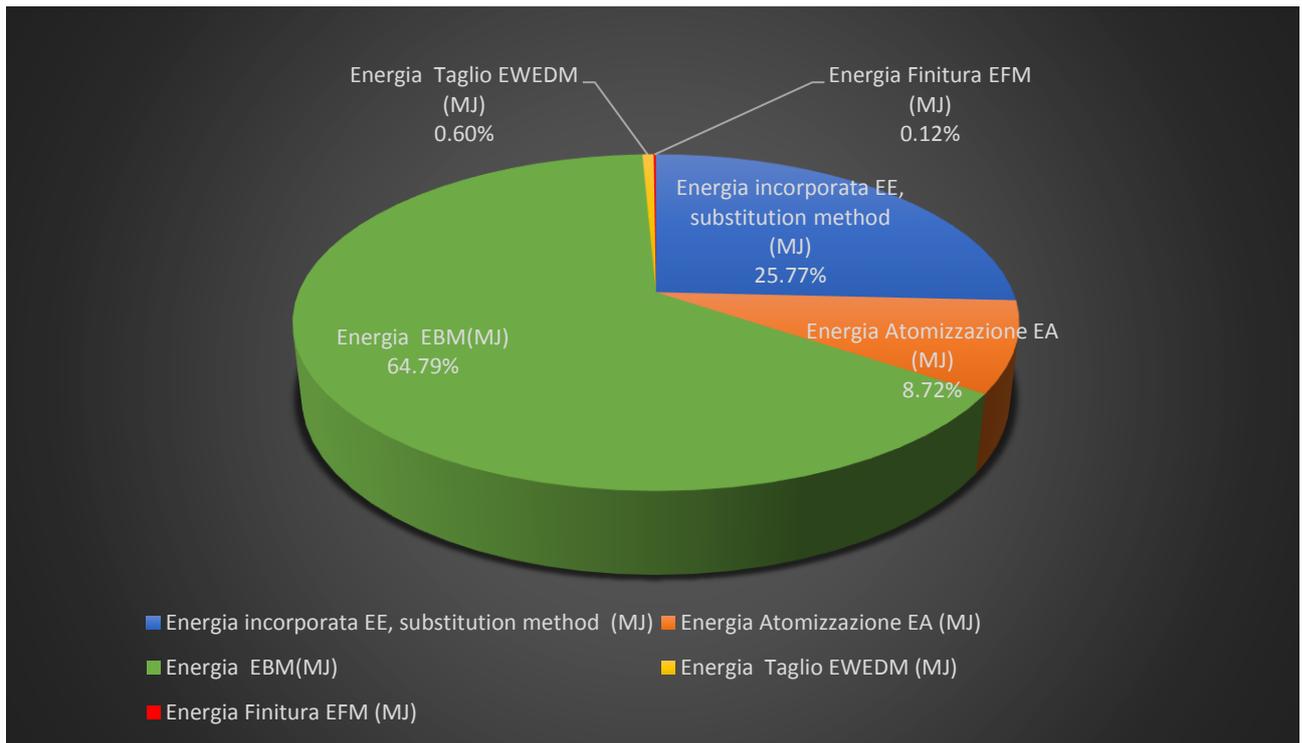


Figura 81. Impatto energetico percentuale di ciascuna fase del ciclo di realizzazione dei sei componenti rispetto alla richiesta complessiva di energia primaria  $E^{AM}$ , calcolata considerando l'approccio del *substitution method*

In tutti e tre gli approcci considerati è evidenziato un impatto piuttosto basso rispetto al totale della fase di finitura, che comprende cioè il processo di taglio WEDM e la vibrofinitura (Figure 80-82).

Nel caso si consideri la produzione di materia prima da risorse primarie, la fase che ha il maggior impatto in termini energetici sull'intero ciclo, così come illustrato dal grafico in Figura 80, è proprio la fase di produzione materia prima, con un valore percentuale di impatto pari al 54% sul totale.

I benefici del riciclaggio, considerati nel *substitution method*, riprodotto in Figura 82, portano invece ad un notevole risparmio di energia, 1449,76 MJ a dispetto dei 2316,22 MJ dell'approccio di produzione primaria, come anche evidenziato in Figura 79; è la fase di produzione EBM a riportare il maggiore impatto energetico sull'intero ciclo, con un risultato percentuale sul totale di  $E^{AM}$  pari al 65%, ma con un risparmio per la fase di produzione materia prima, alla quale corrisponde una percentuale sul totale pari al 26% (Figura 82) rispetto al 54% individuato nel caso dell'approccio di produzione primaria (Figura 80).

L'approccio *recycled content*, in Figura 81, fornisce invece risultati intermedi; gli impatti percentuali in termini di domanda energetica, al solito calcolati su tutto il ciclo, della fase di produzione della materia prima e del processo di produzione EBM, sono molto simili in questo caso, con valori rispettivamente del 48% e del 45%.

Questi risultati sono concordi con quanto riportato nello studio di Priarone, et al., 2018, dove per l'appunto, emerge una richiesta di energia primaria maggiore nel caso in cui il calcolo di  $E^{AM}$  viene condotto secondo l'approccio di produzione primaria, più bassa nel caso del *substitution method*; ancora in linea con questo studio per ciò che riguarda i valori trovati rispetto all'impatto percentuale in termini energetici sull'intero ciclo, anche secondo Priarone et al., il *recycled*

*content* illustra risultati di mezzo, l'approccio *substitution method* riporta un impatto maggiore per la fase di produzione EBM, con un notevole risparmio per la fase di produzione materia prima, mentre la produzione primaria evidenzia un impatto decisamente alto per la prima fase [89].

## 5. Conclusioni

Nel seguente progetto di tesi, a valle di un'accurata panoramica sulla tecnologia di produzione dell'*Additive Manufacturing*, e di quelli che sono i processi di finitura che vengono adoperati a seguito della produzione, è stata applicata una metodologia per valutare la domanda di energia necessaria per la produzione di pezzi in Ti-6Al-4V ottenuti con la tecnica di *Electron Beam Melting* (EBM); la valutazione è stata condotta considerando l'intero ciclo, secondo l'approccio *cradle-to-gate + end of life*, trascurando la fase d'uso

Ciascuna fase è stata analizzata nel dettaglio, ricavando per ciascun campione, informazioni in termini di energia richiesta, massa ottenuta e massa di scarto.

I componenti, oggetto di tale valutazione sono sei: due cresciuti verticalmente (Campioni 01,03), due costruiti a 45° (Campioni 05,07) e due realizzati orizzontalmente (Campioni 09,10).

L'*Additive Manufacturing*, nonostante i suoi limiti, è una tecnologia di fabbricazione molto vantaggiosa, permette infatti di costruire pezzi di qualsiasi forma e complessità; i pezzi che si ottengono sono piuttosto leggeri e si lavora con quantità di scarto piuttosto basse; nel caso specifico i campioni realizzati con EBM hanno mediamente una massa pari a 0,15 kg e si registra una quantità media di scarto al termine della produzione con AM pari a 0,14 kg.

Da questo lavoro di tesi, è emerso anche il principale limite della Fabbricazione Additiva, ancora più evidente, come già testimoniato in letteratura e verificato nel corso di questo studio, nel caso dell'*Electron Beam Melting*; i campioni hanno infatti riportato valori di rugosità molto elevati, maggiori di 15  $\mu\text{m}$ , tanto che al fine di ottenere risultati soddisfacenti e accettabili, è stato necessario realizzare un processo di finitura piuttosto lungo, composto da: tre processi iniziali di vibrofinitura, sabbiatura e un processo finale di vibrofinitura, per un tempo totale pari a  $\cong 115$  h. Tale post-trattamento, così composto, è stato però realizzato solo su tre dei sei campioni (Campioni 01, 05 e 09), mentre gli altri tre sono stati sottoposti ai soli tre processi iniziali di vibrofinitura.

Nonostante però il limite di dover procedere necessariamente con il processo di finitura, è emerso come questa fase, impatti comunque molto poco su tutto il ciclo di realizzazione dei pezzi, con un consumo energetico pari:

- Al 7% sul totale nel caso si segua l'approccio di produzione primaria, che non sfrutta in alcun modo i vantaggi relativi al riciclo di materiale;
- All'12% sul totale nel caso del *substitution method*, che alloca i benefici del riciclaggio in *output*;
- Al 8% sul totale nel caso dell'approccio *recycled content*, che utilizza fin dall'inizio del processo di realizzazione del nuovo prodotto, materiali riciclati.

Questo, permette di ottenere ottimi risultati riguardo la qualità del componente.

Sono individuati infatti valori di rugosità finali piuttosto bassi (per questa valutazione sono stati considerati i Campioni 01, 05, 09 che hanno subito il processo di finitura più lungo), ovvero: misure di  $R_a < 1$   $\mu\text{m}$  con l'utilizzo del microscopio ottimo *MarSurf CM*, che rileva i valori di rugosità muovendosi in maniera continua lungo ciascun campione, mentre nel caso del rugosimetro a contatto *MarSurf XR 20*, il valore di  $R_a$  risulta di circa 4  $\mu\text{m}$ , in quanto lo strumento ha realizzato le misure suddividendo i campioni in tre zone distinte (zona 1 - *Top*, zona 2 - *Front*

side, zona 3 – all'interno dei fori), individuando così, nella zona 3, un valore di rugosità media un po' più alta, pari a  $Ra \cong 8 \mu\text{m}$ .

Sono state osservate anche le superfici dei campioni prima e dopo la finitura, individuando prima del trattamento mappe discontinue, ricche di picchi e avvallamenti, cosa invece non più osservabile a seguito della finitura. Le imperfezioni visibili al microscopio dopo il trattamento, nella zona centrale dei campioni, sono da attribuire alla morfologia tipica che si ottiene a seguito del processo di superfinitura isotropica, brevettato da REM® Chemicals, che lascia inalterate le valli.

Riguardo il riciclo di materiale, è stato osservato come questo, permetta di ottenere evidenti guadagni in termini di energia spesa, rendendo ancora più conveniente il ciclo di realizzazione di componenti in AM.

In particolare, i benefici del riciclaggio, considerati con il *substitution method* e con l'approccio *recycled content*, evidenziano un consumo energetico pari a  $E^{AM} = 1449,76 \text{ MJ}$  e a  $E^{AM} = 2077,95 \text{ MJ}$  rispettivamente, a dispetto della spesa energetica più elevata che caratterizza l'approccio di Produzione Primaria, che non sfrutta in alcun modo il riciclo di materiale, riportando così un valore di  $E^{AM} = 2316,22 \text{ MJ}$ .

Inoltre, più nello specifico, nel caso si consideri la produzione primaria, la fase che maggior impatta in termini di energia sull'intero ciclo è proprio la fase di produzione materia prima, con un valore percentuale di impatto pari al 54% sul totale;

nel *substitution method*, è invece la fase di EBM a riportare il maggiore impatto energetico sull'intero ciclo, con un valore percentuale sul totale di  $E^{AM}$  pari al 65%, con un notevole risparmio però nella la fase di produzione materia prima, con una percentuale sul totale pari a 26%; l'approccio *Recycled Content* invece, riporta risultati intermedi: gli impatti percentuali di energia spesa calcolati su tutto il ciclo, della fase di produzione della materia prima e del processo di produzione EBM, sono molto simili, con valori rispettivamente del 48% e del 45% sul totale.

## 6. Bibliografia

- [1] Karel Kellens, Martin Baumers, Timothy G. Gutowski, William Flanagan, Reid Lifset and Joost R. Duflou, “Environmental Dimensions of Additive Manufacturing Mapping Application Domains and Their Environmental Implications”, 2017
- [2] Luca Iuliano, “Introduzione all’Additive Manufacturing”, Politecnico di Torino
- [3] <https://prototek.it/dalla-modellazione-3d-alloggetto-stampato/>
- [4] Manlio Bordoni and Alberto Boschetto, “Thickening of surfaces for direct additive manufacturing fabrication”, in *Rapid Prototyping Journal*, 2012
- [5] Dispensa Corso di Complementi di Tecnologia Meccanica, Università di Roma 3
- [6] [https://www.shapeways.com/tutorials/polygon\\_reduction\\_with\\_meshlab](https://www.shapeways.com/tutorials/polygon_reduction_with_meshlab) - Shapeways, Polygon count reduction with MeshLab
- [7] ISO ASTM52915 - 13, ASTM standard
- [8] <http://blog.stratasys.com/2012/09/19/new-amf-file-format-to-unleash-the-potential-of-3d-printing/>
- [9] Pulak Mohan Pandey, N. Venkata Reddy, Sanjay G. Dhande, "Slicing procedures in layered manufacturing: a review", in *Rapid Prototyping Journal*, 2003
- [10] Alberto Boschetto, Veronica Giordano, Francesco Veniali, "3D roughness profile model in fused deposition modelling", in *Rapid Prototyping Journal*, 2013
- [11] N. N. Kumbhar, A. V. Mulay, “Post Processing Methods used to Improve Surface Finish of Products which are Manufactured by Additive Manufacturing Technologies: A Review”, 2016
- [12] F. Xu, H.T. Loh, Y.S. Wong, "Considerations and selection of optimal orientation for different rapid prototyping systems", in *Rapid Prototyping Journal*, 1999
- [13] Ho KH, Newman ST, “State of the art electrical dischargemachining (EDM)”, in the *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2003
- [14] R. K. Garg, K. K. Singh, Anish Sachdeva, Vishal S. Sharma & Kuldeep Ojha, Sharanjit Singh, “Review of research work in sinking EDM and WEDM on metal matrix composite materials”, in *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010
- [15] H. Ramasawmy, L. Blunt, “Effect of EDM process parameters on 3D surface topography”, in *Journal of Materials Processing Technology*, 2004
- [16] Mu-Tian Yan, Yi-Peng Lai, “Surface quality improvement of wire-EDM using a fine-finish power supply”, in the *International Journal Machine Tools & Manufacturing*, 2007
- [17] N Mohri, Y Fukuzawa, T Tani, N Saito, KFurutani, “Assisting electrode method for machining insulating ceramics”, 1996
- [18] T. Masuzawa, S. Sakai, “Quick finishing of WEDM products by ECM using a mate-electrode”, *Ann. CIRP* 36, 1987, 123–126
- [19] Luca Iuliano, “Applicazione dell’Additive Manufacturing in Fonderia”, Politecnico di Torino
- [20] C. Tuck, R. Hague, M. Ruffo, M. Ransley, and P. Adams, “Rapid manufacturing facilitated customization”, in the *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2018

- [21] Baumers, M., C. Tuck, R. Hague, I. Ashcroft, e R. Wildman, “A comparative study of metallic additive manufacturing power consumption”, in Proceedings of the 21st Solid Freeform Fabrication Symposium, 278–288, 2010
- [22] Baumers, M., C. Tuck, R. Wildman, I. Ashcroft, e R. Hague, “Energy inputs to additive manufacturing: Does capacity utilization matter?”, in Proceedings of the 22nd Solid Freeform Fabrication Symposium, 30–40, 2011
- [23] Morrow, W., H. Kim, J. Mazumder, and S. Skerlos, “Environmental aspects of laser-based and conventional tool and die manufacturing”, *Journal of Cleaner Production* 932–943, 2007
- [24] Luca Iuliano, “Applicazione ed implicazioni dell’Additive Manufacturing”, Politecnico di Torino
- [25] Paolo C. Priarone, Giuseppe Ingarao, “Towards criteria for sustainable process selection: On the modelling of pure subtractive versus additive/subtractive integrated manufacturing approaches”, in *Journal of Cleaner Production*, 2017
- [26] M.F Ashby, “Materials and the Environment: Eco-informed Material Choice”, second ed. Butterworth Heinemann/Elsevier, 2013
- [27] K. Kellens, “Energy and resource efficient manufacturing”, 2013
- [28] K. Kellens, Renaldi, W. Dewulf, J. P. Kruth, and J. R. Duflou, “Environmental impact modeling of selective laser sintering processes”, *Rapid Prototyping Journal* 20(6): 459–470, 2014
- [29] A. Drizo, J. Pegna, “Environmental impacts of rapid prototyping: An overview of research to date”, *Rapid Prototyping Journal* 12(2): 64–71, 2006
- [30] D. B. Short, A. Sirinterlikci, P. Badger, and B. Artieri, “Environmental, health and safety issues in rapid prototyping”, *Rapid Prototyping Journal* 21(1): 105–100, 2015
- [31] L. Qian, J. Mei, J. Liang, X. Wu, “Influence of position and laser power on thermal history and microstructure of direct laser fabricated Ti–6Al–4V”, in *Journal Materials Science*, 2005
- [32] E. Atzeni, M. Barletta, F. Calignano, L. Iuliano, G. Rubino, V. Tagliaferri, “Abrasive Fluidized Bed (AFB) finishing of AlSi10Mg substrates manufactured by Direct Metal Laser Sintering (DMLS)”, in *Additive Manufacturing Journal*, 2016
- [33] Dirk Herzog, Vanessa Seyda, Eric Wycisk, Claus Emmelmann, “Additive manufacturing of metals”, in *Acta Materialia*, 2016
- [34] L.E. Murr, S.M. Gaytan, D.A. Ramirez, E. Martinez, J. Hernandez, K.N. Amato, P.W. Shindo, F.R. Medina, R.B. Wicker, “Metal fabrication by additive manufacturing using laser and electron beam melting technologies”, in *Journal of Materials Science & Technology*, 2012
- [35] <http://www.arcam.com/technology/electron-beam>
- [36] Nikolas Hrabe, Thomas Gnäupel-Herold, Timothy Quinn, “Fatigue properties of a titanium alloy (Ti–6Al–4V) fabricated via electron beam melting (EBM): Effects of internal defects and residual stress”, in *International Journal of Fatigue*, 2017
- [37] Arcam S12 User Guide, in, Arcam AB, Molndal, Sweden
- [38] G. Welsch, R. Boyer, E.W. Collings, “Materials properties handbook: titanium alloys”, ASM International, Metals Park (OH), 1994
- [39] M. Kahlin, Ansella, Moverare, “Fatigue behaviour of notched additive manufactured Ti6Al4V with as-built surfaces”, in *International Journal of Fatigue*, 2017

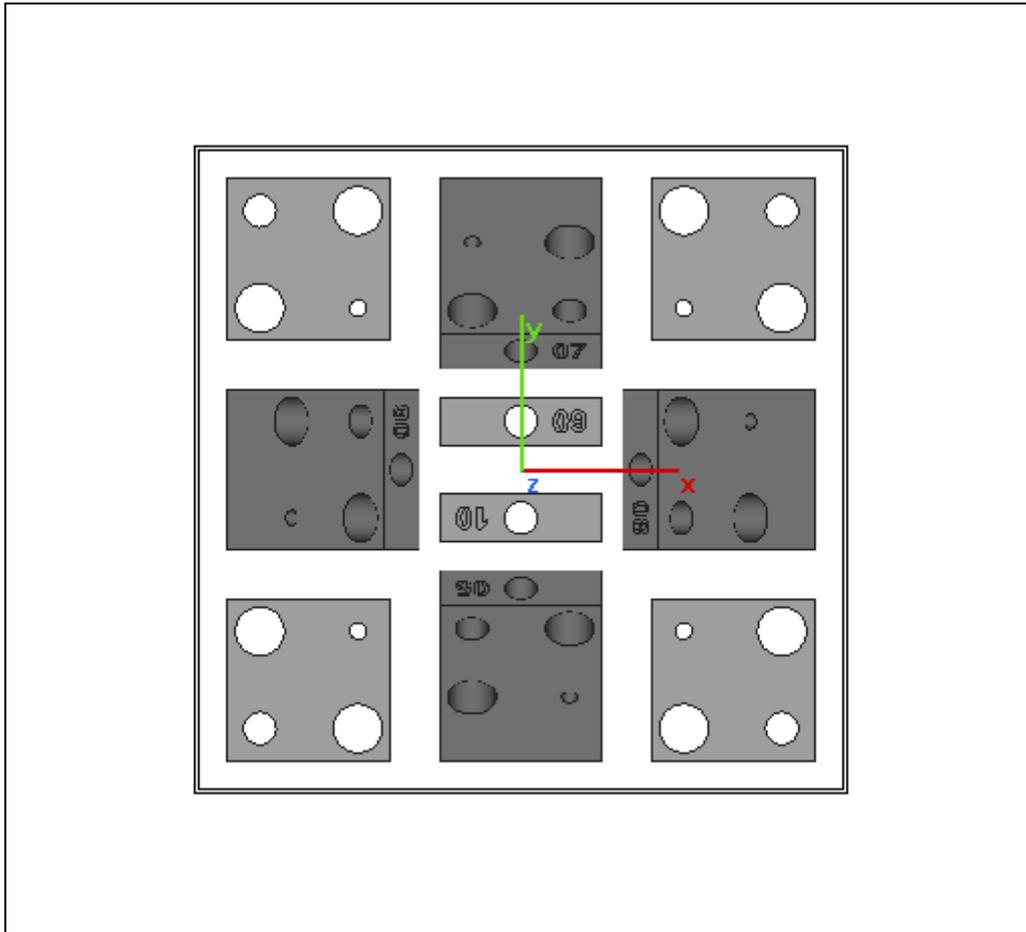
- [40] X. Tan, Y. Kok, Y.J. Tan, M. Descoins, D. Mangelinck, S.B. Tor, K.F. Leong, C.K. Chua, “Graded microstructure and mechanical properties of additive manufactured Ti-6Al-4V via electron beam melting”, *Acta Mater.* 97, 2015
- [41] D.A. Ramirez, L.E. Murr, E. Martinez, D.H. Hernandez, J.L. Martinez, B.I. Machado, F. Medina, P. Frigola, R.B. Wicker, “Novel precipitate-microstructural architecture developed in the fabrication of solid copper components by additive manufacturing using electron beam melting”, *Acta Mater.* 59, 2011
- [42] U. Ackelid, M. Svensson, “Additive manufacturing of dense metal parts by electron beam melting “, *Materials science and technology conference, MS&T Partner Societies, Pittsburgh (PA) (2009)*, pp. 2711-2719
- [43] Wenjun Ge, Sangwoo Han, Yuchao Fang, Jason Cheon, Suck Joo Na, “Mechanism of surface morphology in electron beam melting of Ti6Al4V based on computational flow patterns”, *Applied Surface Science*, 2017
- [44] G. Nicoletto, R. Konečná, M. Frkání, E. Riva, “Surface roughness and directional fatigue behavior of as-built EBM and DMLS Ti6Al4V”, in *International Journal of Fatigue*, 2018
- [45] <http://www.arcam.com/technology/electron-beam-melting/hardware/>
- [46] J.C. Aurich, B. Linke, M. Hauschild, M. Carrella, B. Kirsch, “Sustainability of abrasive processes”, *CIRP Annals, Manufacturing Technology*, 2013
- [47] D.A. Davidson “Green mass finishing with dry abrasive and polishing media”, *Metal Finishing – Mechanical Finishing*, 2007.
- [48] Seiji Kuroda, Jin Kawakita, Makoto Watanabe and Hiroshi Katanoda, “Warm spraying—a novel coating process based on high-velocity impact of solid particles”, *STAM-Science and Technology of Advanced Materials*, 2008
- [49] <https://www.thomasnet.com/articles/chemicals/process-of-thermal-spray-coatings>
- [50] A. Moridi, SM Hassani-Gangaraj, M. Guagliano, M. Dao, "Cold spray coating: review of material systems and future perspectives", *Surface Engineering*, 2014
- [51] <http://www.conformalcoatinghelp.com/index.php/ebook/application/brushing/>
- [52] <https://sugru.com/>
- [53] <https://www.chimicamo.org/chimica-generale/solventi.html>
- [54] <https://www.chimicamo.org/chimica-organica/solventi-organici.html>
- [55] <https://www.carvilleplastics.com/services/plastic-polishing/>
- [56] <https://www.starrapid.com/blog/how-does-vapor-polishing-work/>
- [57] N. Mohammadian, S. Turenne, V. Brailovski, “Surface finish control of additively manufactured Inconel 625 components using combined chemical-abrasive flow polishing”, in *Journal of Materials Processing Tech*, 2018
- [58] Vojislav Petrovic, Juan Vicente Haro Gonzalez, Olga Jordá Ferrando, Javier Delgado Gordillo, Jose Ramón Blasco Puchades, Luis Portolés Griñan, “Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies”, in the *International Journal of Production Research*, 2010
- [59] Hyunseop Lee, Dasol Lee and Haedo Jeong, “Mechanical Aspects of the Chemical Mechanical Polishing Process: A Review”, in the *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 2016

- [60] C. Ramesh, R.S. Kumar, S. Ramakrishna, K.K. Venkatesh, “Design of experiments to study slurry erosive wear behavior of inconel-718 coatings on copper”, *Adv. Mater. Res.* 939, 459–464, 2014
- [61] “Richiami di Conduzione e Convezione”, Cap. 2, Corso di Fisica Tecnica, Università degli studi di Genova
- [62] Charles A Harper, Edward M. Petrie, “Plastics Materials and Processes: A Concise Encyclopedia”, 2003-10-10
- [63] <http://www.plasweld.com.au/how-to-flame-polish-acrylic-perspex/>
- [64] Georg Lockemann, “The Centenary of the bunsen burner”
- [65] Scheda di Strumentazione, stensione online di M.G. Fiorin, “Biologia e microbiologia ambientale e sanitaria”, Zanichelli Editore S.P.A. 2012
- [66] <https://www.hidrobrico.it/blog/guida-alla-scelta-della-carta-abrasiva/>
- [67] <http://www.stratasys.com/it/applicazioni/rifinitura/levigatura-parti-fdm>
- [68] Robert E. Williams, Vicki L. Melton, “Abrasive flow finishing of stereolithography prototypes”, in *Rapid Prototyping Journal*, 1998
- [69] C. Peng, Y. Fu, H. Wei, S. Li, X. Wang, H. Gao, “Study on Improvement of Surface Roughness and Induced Residual Stress for Additively Manufactured Metal Parts by Abrasive Flow Machining”, in 4th CIRP Conference on Surface Integrity, 2018
- [70] F. Salvatore, F. Grange, R.Kaminski, C. Claudin, G. Kermouche, J. Rech , A. Texier, “Experimental and numerical study of media action during tribofinishing in the case of SLM titanium parts”, 16th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations, 2017
- [71] M.Barletta, A.Gisario, S.Venettacci, G.Rubino, “A comparative evaluation of fluidized bed assisted drag finishing and centrifugal disk dry finishing”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 2014
- [72] E. Paul DeGarmo, J.T. Black e Ronald A. Kohser, “Materials and Processes in Manufacturing”, 9<sup>a</sup>, Wiley, 2003
- [73] “Prodotti chimici di consumo” in ROSLER, finding a better way
- [74] <https://www.mariodimaio.com>
- [75] <http://gasparisrl.it/tag/burattatura/page/2/>.
- [76] <https://www.wheelabratorgroup.com/it-it/my-application/application-by-process/what-is-vibratory-mass-finishing>
- [77] <https://www.kramerindustriesonline.com/resources/choosing-the-right-system/>
- [78] <http://solidoodletips.wordpress.com/2012/10/17/tumbler-finishing/>
- [79] “Potenzialità e applicazioni di sabbiatura e pallinatura”, nella Rivista Meccanica Oggi, dicembre 2003
- [80] <http://silcotorino.it/sabbiatura/>
- [81] Dresti Mauro, RILPO Sagl pietra naturale e ceramica
- [82] <http://www.fevi.it/-ita/guida/index.php?pagina=sabbiatura-a-umido&menu=4>
- [83] <http://kasco.eu/blog/sabbiatura-rischi-salute-e-prevenzione/>

- [84] Leong Kah Fai, Chua Chee Kai and Tan Chee Hock, “Microblasting Characteristics of Jewellery Models Built Using StereoLithography Apparatus (SLA)”, in the International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1998
- [85] <http://www.airbrasive.com/faq/what-is-micro-blasting/>
- [86] <http://www.tuanotizia.it/pallinatura-a-cosa-serve-e-che-differenza-ce-con-la-sabbiatura-1434/>
- [87] K.L. Tan, S.H. Yeo, “Surface modification of additive manufactured components by ultrasonic cavitation abrasive finishing”, in Wear Journal, 2017
- [88] Mahr GmbH, “Optical 3D Surface metrology for industry and research”
- [89] Paolo C. Priarone, Giuseppe Ingarao, Vincenzo Lunetto, Rosa Di Lorenzo, Luca Settineri, “The role of re-design for Additive Manufacturing on the process environmental performance”, 25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, 2018
- [90] Paolo C. Priarone, Luca Settineri, “Material production and recycling benefit awarding”, Corso di Sustainable Manufacturing, Politecnico di Torino, 2017-2018
- [91] N. Serres, D. Tidu, S. Sankare, and F. Hkawka, “Environmental comparison of MESO-CLAD process and conventional machining implementing life cycle assessment”, Journal of Cleaner Production 19: 1117–1124, 2011
- [92] M. Baumers, C. Tuck, R. Wildman, I. Ashcroft, R. Hague, “Shape complexity and process energy consumption in electron beam melting: A case of something for nothing in additive manufacturing?”, Journal of Industrial Ecology 21(S1): S157–S167, 2017
- [93] Paolo C. Priarone, Vincenzo Lunetto, Eleonora Atzeni, Alessandro Salmi, “Laser powder bed fusion (L-PBF) additive manufacturing: On the correlation between design choices and process sustainability”, 6th CIRP Global Web Conference, 2018

# Platform Report: finishing\_specimens.magics

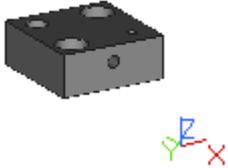
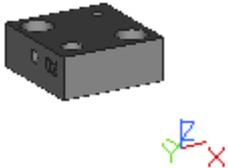
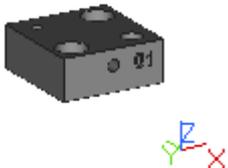
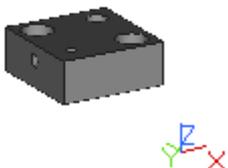
## 1 Top View

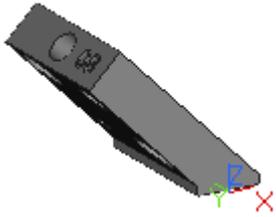
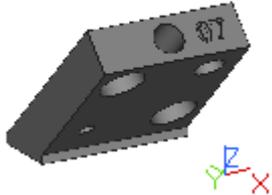
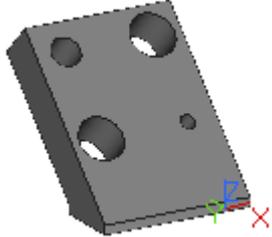
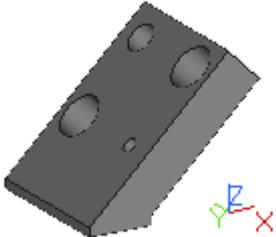
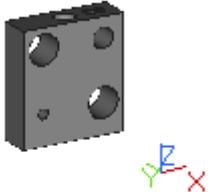


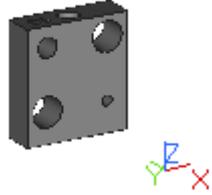
## 2 Platform properties:

Number of parts	10
Estimated buildtime	%%BuildTimeEstimation%%
Extra comments	

### 3 Part properties:

Nr.	Name	Dimensions	View
1	test	Size : 50.000x50.000x20.000 mm Volume : 39534.147 mm <sup>3</sup> Surface : 11869.702 mm <sup>2</sup>	
2	02_provino_finitura_+5mm_6dia	Size : 50.000x50.000x20.000 mm Volume : 39531.897 mm <sup>3</sup> Surface : 11869.614 mm <sup>2</sup>	
3	01_provino_finitura_+5mm_6dia	Size : 50.000x50.000x20.000 mm Volume : 39538.022 mm <sup>3</sup> Surface : 11859.888 mm <sup>2</sup>	
4	04_provino_finitura_+5mm_6dia	Size : 50.000x50.000x20.000 mm Volume : 39532.709 mm <sup>3</sup> Surface : 11867.849 mm <sup>2</sup>	

5	[08_provino_finitu ra_45_+5mm]	Size : 58.569x50.000x50.962 mm Volume : 36891.924 mm <sup>3</sup> Surface : 13287.673 mm <sup>2</sup>	
6	[07_provino_finitu ra_45_+5mm]	Size : 50.000x58.569x50.962 mm Volume : 36899.955 mm <sup>3</sup> Surface : 13278.373 mm <sup>2</sup>	
7	[05_provino_finitu ra_45_+5mm]	Size : 50.000x58.569x50.962 mm Volume : 36894.674 mm <sup>3</sup> Surface : 13286.921 mm <sup>2</sup>	
8	[06_provino_finitu ra_45_+5mm]	Size : 58.569x50.000x50.962 mm Volume : 36893.011 mm <sup>3</sup> Surface : 13287.353 mm <sup>2</sup>	
9	[09_provino_finitu ra_verticale_+5m m]	Size : 50.000x15.000x55.000 mm Volume : 30132.655 mm <sup>3</sup> Surface : 11500.166 mm <sup>2</sup>	

10	[10_provino_finitura_verticale_+5mm]	Size : 50.000x15.000x55.000 mm Volume : 30140.754 mm <sup>3</sup> Surface : 11487.905 mm <sup>2</sup>	
----	--------------------------------------	---	---

# EBM Control Build Report A/S-Series Systems

## Build Summary

Serial Number	R1308_2018-10-09_10.19
Machine Name	R1308
Powder Batch	P1236
Software Version	5.0.64
Build Name	finishing_specimens
Material Theme	Ti6Al4V
Build Envelope	\\BuildEnvelope\A2X\Arcam\A2X
Layer Thickness	0,05
Last Processed Z-Level	55,000 mm
Selected Start Z-Level	0,050 mm
Selected End Z-Level	55,000 mm
Build Start Time	09/10/2018 11:13
Build Stop Time	10/10/2018 04:45
Heat build platform Time	0:30 hh:mm
Process Time	17:02 hh:mm
Cool Down Time	4:47 hh:mm
Total Build Time	22:20 hh:mm

## Validation Result

Build Completed	<input checked="" type="checkbox"/>	_____
Validation Result	<input checked="" type="checkbox"/>	_____

## Verification Result

Name	Value	Warning Limit	Critical Limit	Unit	OK
Arc-Trips / 10 Minutes	0	0 - 4	0 - 10	Minutes	<input checked="" type="checkbox"/>
Average Idle Time / Layer	10,0	17,0-25,0	<0,0; >25,0	s	<input checked="" type="checkbox"/>
Bottom Temperature	548 - 634	300-400;	<300; >1.200	°C	<input checked="" type="checkbox"/>
Chamber Pressure CV-EBM	2E-3	1E-4-8E-4; 7E-3-1E-2	<1E-4; >1E-2	mBar	<input checked="" type="checkbox"/>
Column Pressure CV-EBM	5E-6	1E-8-1E-7; 2E-5-8E-5	<1E-8; >8E-5	mBar	<input checked="" type="checkbox"/>
Column Temperature	46	0-20; 65-75	<0; >75	°C	<input checked="" type="checkbox"/>
Filament Current	10,3 - 10,9	7,0-8,0; 11,9-12,0	<7,0; >12,0	A	<input checked="" type="checkbox"/>
Filament Has Been Peaked	1		<1; >1		<input checked="" type="checkbox"/>
High Voltage Range	59,8 - 59,9	59,0-59,5; 60,5-61,0	<59,0; >61,0	kV	<input checked="" type="checkbox"/>
Max Cycle Time	166,0	1.500,0-3.000,0	<0,0; >3.000,0	ms	<input checked="" type="checkbox"/>
Max Grid Voltage Deviation	4,2	25,0-40,0	<0,0; >40,0	V	<input checked="" type="checkbox"/>
Max Idle Time / Layer	10,5	50,0-70,0	<0,0; >70,0	s	<input checked="" type="checkbox"/>
Max Z Deviation	0,0097	0,0150-0,0200	<0,0000; >0,0200	mm	<input checked="" type="checkbox"/>
Min Grid Voltage / Layer	187,5	120,0-150,0; 400,0-500,0	<120,0; >500,0	V	<input checked="" type="checkbox"/>
Number of abnormal pulses / Layer	0	4-6	<0; >6		<input checked="" type="checkbox"/>

## Process Step Change Log

---

Time Stamp	Action
09/10/2018 10:19:56 Core	Process step 2 enabled
09/10/2018 10:19:56 Core	Theme Ti6Al4V_A2X-Melt-50um-5.0.61 loaded into process step 2
09/10/2018 10:19:56 Core	Theme version 5.0.61 in step 2
09/10/2018 10:19:56 Core	Process step 1 enabled
09/10/2018 10:19:56 Core	Theme Ti6Al4V_A2X-PreHeat-50um-5.0.61 loaded into process step 1
09/10/2018 10:19:56 Core	Theme version 5.0.61 in step 1

## Hardware information

Name	Value
Computer information	BaseBoard: Manufacturer = INTEL Corporation, Name = Base Board, Product = CARLOW, SerialNumber = To be filled by O.E.M., Status = OK, Version = To be filled by O.E.M.
CPU information	CPU: Description = Intel64 Family 6 Model 58 Stepping 9, Manufacturer = GenuineIntel, Name = Intel(R) Core(TM) i7-3770 CPU @ 3.40GHz, NumberOfCores = 4, NumberOfLogicalProcessors = 8, Status = OK

		PART NAME : provino 1				novembre 22, 2018	12:49
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1	
↔	MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.882	0.882	0.782	
↔	MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.367	0.367	0.267	
↔	MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	53.758	3.758	3.658	
↔	MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.792	0.792	0.692	
↔	MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	49.790	-0.210	-0.110	
↔	MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.793	0.793	0.693	
FCFFLAT1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
PLN1	0.000	0.010		0.036	0.036	0.026	
PLN3	0.000	0.010		0.100	0.100	0.090	
PLN2	0.000	0.010		0.046	0.046	0.036	
FCFCYL1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
CYL1	0.000	0.010		0.166	0.166	0.156	
CYL2	0.000	0.010		0.115	0.115	0.105	
CYL3	0.000	0.010		0.096	0.096	0.086	
CYL4	0.000	0.010		0.094	0.094	0.084	
⊕	MM	LOC1 - CYL1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	10.036	0.036	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	10.120	0.120	0.020	
D	15.000	0.100	0.100	14.785	-0.215	-0.115	
⊕	MM	LOC2 - CYL2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.751	-0.249	-0.149	
Y	40.000	0.100	0.100	40.015	0.015	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.780	-0.220	-0.120	

#		MM	LOC3 - CYL3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.791	-0.209	-0.109		
Y	10.000	0.100	0.100	10.134	0.134	0.034		
D	10.000	0.100	0.100	9.814	-0.186	-0.086		
#		MM	LOC4 - CYL4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.979	-0.021	0.000		
Y	40.000	0.100	0.100	39.981	-0.019	0.000		
D	5.000	0.100	0.100	4.857	-0.143	-0.043		
#		MM	LOC5 - CIR1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	10.087	0.087	0.000		
Y	10.000	0.100	0.100	10.088	0.088	0.000		
D	15.000	0.100	0.100	14.785	-0.215	-0.115		
#		MM	LOC6 - CIR2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.806	-0.194	-0.094		
Y	40.000	0.100	0.100	39.923	-0.077	0.000		
D	15.000	0.100	0.100	14.780	-0.220	-0.120		
#		MM	LOC7 - CIR3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.831	-0.169	-0.069		
Y	10.000	0.100	0.100	10.108	0.108	0.008		
D	10.000	0.100	0.100	9.814	-0.186	-0.086		
#		MM	LOC8 - CIR4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	10.009	0.009	0.000		
Y	40.000	0.100	0.100	39.910	-0.090	0.000		
D	5.000	0.100	0.100	4.857	-0.143	-0.043		

		PART NAME : provino 1				novembre 22, 2018		12:57	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.872	0.872	0.772			
↔		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.364	0.364	0.264			
↔		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	53.744	3.744	3.644			
↔		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.792	0.792	0.692			
↔		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.795	-0.205	-0.105			
↔		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.786	0.786	0.686			
FCFFLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
PLN1	0.000	0.010		0.035	0.035	0.025			
PLN3	0.000	0.010		0.084	0.084	0.074			
PLN2	0.000	0.010		0.042	0.042	0.032			
FCFCYL1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
CYL1	0.000	0.010		0.165	0.165	0.155			
CYL2	0.000	0.010		0.119	0.119	0.109			
CYL3	0.000	0.010		0.090	0.090	0.080			
CYL4	0.000	0.010		0.089	0.089	0.079			
⊕		MM	LOC1 - CYL1						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	10.000	0.100	0.100	10.044	0.044	0.000			
Y	10.000	0.100	0.100	10.090	0.090	0.000			
D	15.000	0.100	0.100	14.786	-0.214	-0.114			
⊕		MM	LOC2 - CYL2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	40.000	0.100	0.100	39.775	-0.225	-0.125			
Y	40.000	0.100	0.100	39.970	-0.030	0.000			
D	15.000	0.100	0.100	14.781	-0.219	-0.119			

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.808	-0.192	-0.092	
Y	10.000	0.100	0.100	10.089	0.089	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.820	-0.180	-0.080	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	10.006	0.006	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.951	-0.049	0.000	
D	5.000	0.100	0.100	4.856	-0.144	-0.044	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	10.094	0.094	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	10.059	0.059	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.786	-0.214	-0.114	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.828	-0.172	-0.072	
Y	40.000	0.100	0.100	39.877	-0.123	-0.023	
D	15.000	0.100	0.100	14.781	-0.219	-0.119	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.839	-0.161	-0.061	
Y	10.000	0.100	0.100	10.065	0.065	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.820	-0.180	-0.080	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	10.039	0.039	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.882	-0.118	-0.018	
D	5.000	0.100	0.100	4.856	-0.144	-0.044	

		PART NAME : provino 1				novembre 22, 2018		13:06	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.887	0.887	0.787			
↔		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.363	0.363	0.263			
↔		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	53.763	3.763	3.663			
↔		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.791	0.791	0.691			
↔		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.789	-0.211	-0.111			
↔		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.797	0.797	0.697			
FCFFLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
PLN1	0.000	0.010		0.036	0.036	0.026			
PLN3	0.000	0.010		0.096	0.096	0.086			
PLN2	0.000	0.010		0.048	0.048	0.038			
FCFCYL1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
CYL1	0.000	0.010		0.165	0.165	0.155			
CYL2	0.000	0.010		0.115	0.115	0.105			
CYL3	0.000	0.010		0.101	0.101	0.091			
CYL4	0.000	0.010		0.092	0.092	0.082			
⊕		MM	LOC1 - CYL1						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	10.000	0.100	0.100	10.044	0.044	0.000			
Y	10.000	0.100	0.100	10.129	0.129	0.029			
D	15.000	0.100	0.100	14.784	-0.216	-0.116			
⊕		MM	LOC2 - CYL2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	40.000	0.100	0.100	39.752	-0.248	-0.148			
Y	40.000	0.100	0.100	40.033	0.033	0.000			
D	15.000	0.100	0.100	14.780	-0.220	-0.120			

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.796	-0.204	-0.104	
Y	10.000	0.100	0.100	10.153	0.153	0.053	
D	10.000	0.100	0.100	9.813	-0.187	-0.087	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.978	-0.022	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.991	-0.009	0.000	
D	5.000	0.100	0.100	4.858	-0.142	-0.042	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	10.095	0.095	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	10.091	0.091	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.784	-0.216	-0.116	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.807	-0.193	-0.093	
Y	40.000	0.100	0.100	39.939	-0.061	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.780	-0.220	-0.120	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.840	-0.160	-0.060	
Y	10.000	0.100	0.100	10.125	0.125	0.025	
D	10.000	0.100	0.100	9.813	-0.187	-0.087	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	10.008	0.008	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.921	-0.079	0.000	
D	5.000	0.100	0.100	4.858	-0.142	-0.042	

		PART NAME : provino 3				novembre 22, 2018		12:22	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.847	0.847	0.747			
↔		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.135	0.135	0.035			
↔		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	53.721	3.721	3.621			
↔		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.775	0.775	0.675			
↔		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.800	-0.200	-0.100			
↔		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.776	0.776	0.676			
FCFFLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
PLN1	0.000	0.010		0.048	0.048	0.038			
PLN3	0.000	0.010		0.098	0.098	0.088			
PLN2	0.000	0.010		0.071	0.071	0.061			
FCFCYL1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
CYL1	0.000	0.010		0.169	0.169	0.159			
CYL2	0.000	0.010		0.137	0.137	0.127			
CYL3	0.000	0.010		0.095	0.095	0.085			
CYL4	0.000	0.010		0.093	0.093	0.083			
⊕		MM	LOC1 - CYL1						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	10.000	0.100	0.100	10.066	0.066	0.000			
Y	10.000	0.100	0.100	10.147	0.147	0.047			
D	15.000	0.100	0.100	14.770	-0.230	-0.130			
⊕		MM	LOC2 - CYL2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	40.000	0.100	0.100	39.750	-0.250	-0.150			
Y	40.000	0.100	0.100	39.889	-0.111	-0.011			
D	15.000	0.100	0.100	14.749	-0.251	-0.151			

#		MM	LOC3 - CYL3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.790	-0.210	-0.110		
Y	10.000	0.100	0.100	10.083	0.083	0.000		
D	10.000	0.100	0.100	9.739	-0.261	-0.161		
#		MM	LOC4 - CYL4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	10.015	0.015	0.000		
Y	40.000	0.100	0.100	39.946	-0.054	0.000		
D	5.000	0.100	0.100	4.814	-0.186	-0.086		
#		MM	LOC5 - CIR1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	10.024	0.024	0.000		
Y	10.000	0.100	0.100	10.221	0.221	0.121		
D	15.000	0.100	0.100	14.770	-0.230	-0.130		
#		MM	LOC6 - CIR2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.704	-0.296	-0.196		
Y	40.000	0.100	0.100	39.893	-0.107	-0.007		
D	15.000	0.100	0.100	14.749	-0.251	-0.151		
#		MM	LOC7 - CIR3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.814	-0.186	-0.086		
Y	10.000	0.100	0.100	10.119	0.119	0.019		
D	10.000	0.100	0.100	9.739	-0.261	-0.161		
#		MM	LOC8 - CIR4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.979	-0.021	0.000		
Y	40.000	0.100	0.100	40.058	0.058	0.000		
D	5.000	0.100	0.100	4.814	-0.186	-0.086		

		PART NAME : provino 3				novembre 22, 2018		12:32	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
		DIST1 - PNT5 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.850	0.850	0.750			
		DIST1 - PNT6 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.137	0.137	0.037			
		DIST1 - PNT7 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	53.726	3.726	3.626			
		DIST2 - PNT2 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.774	0.774	0.674			
		DIST2 - PNT3 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.798	-0.202	-0.102			
		DIST2 - PNT4 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.777	0.777	0.677			
FCFFLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
PLN1	0.000	0.010		0.037	0.037	0.027			
PLN3	0.000	0.010		0.099	0.099	0.089			
PLN2	0.000	0.010		0.067	0.067	0.057			
FCFCYL1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
CYL1	0.000	0.010		0.167	0.167	0.157			
CYL2	0.000	0.010		0.139	0.139	0.129			
CYL3	0.000	0.010		0.097	0.097	0.087			
CYL4	0.000	0.010		0.092	0.092	0.082			
		LOC1 - CYL1							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	10.000	0.100	0.100	10.063	0.063	0.000			
Y	10.000	0.100	0.100	10.153	0.153	0.053			
D	15.000	0.100	0.100	14.768	-0.232	-0.132			
		LOC2 - CYL2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	40.000	0.100	0.100	39.743	-0.257	-0.157			
Y	40.000	0.100	0.100	39.901	-0.099	0.000			
D	15.000	0.100	0.100	14.750	-0.250	-0.150			

#		MM	LOC3 - CYL3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.789	-0.211	-0.111		
Y	10.000	0.100	0.100	10.094	0.094	0.000		
D	10.000	0.100	0.100	9.743	-0.257	-0.157		
#		MM	LOC4 - CYL4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	10.008	0.008	0.000		
Y	40.000	0.100	0.100	39.955	-0.045	0.000		
D	5.000	0.100	0.100	4.818	-0.182	-0.082		
#		MM	LOC5 - CIR1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	10.024	0.024	0.000		
Y	10.000	0.100	0.100	10.231	0.231	0.131		
D	15.000	0.100	0.100	14.768	-0.232	-0.132		
#		MM	LOC6 - CIR2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.699	-0.301	-0.201		
Y	40.000	0.100	0.100	39.904	-0.096	0.000		
D	15.000	0.100	0.100	14.750	-0.250	-0.150		
#		MM	LOC7 - CIR3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.813	-0.187	-0.087		
Y	10.000	0.100	0.100	10.128	0.128	0.028		
D	10.000	0.100	0.100	9.743	-0.257	-0.157		
#		MM	LOC8 - CIR4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.972	-0.028	0.000		
Y	40.000	0.100	0.100	40.060	0.060	0.000		
D	5.000	0.100	0.100	4.818	-0.182	-0.082		

		PART NAME : provino 3				novembre 22, 2018		12:40	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔ MM DIST1 - PNT5 TO PLN3									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 50.843 0.843 0.743									
↔ MM DIST1 - PNT6 TO PLN3									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 50.138 0.138 0.038									
↔ MM DIST1 - PNT7 TO PLN3									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 53.714 3.714 3.614									
↔ MM DIST2 - PNT2 TO PLN2									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 50.780 0.780 0.680									
↔ MM DIST2 - PNT3 TO PLN2									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 49.803 -0.197 -0.097									
↔ MM DIST2 - PNT4 TO PLN2									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 50.770 0.770 0.670									
FCFFLAT1 MM  0.01									
Feature NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL BONUS									
PLN1 0.000 0.010 0.037 0.037 0.027									
PLN3 0.000 0.010 0.102 0.102 0.092									
PLN2 0.000 0.010 0.069 0.069 0.059									
FCFCYL1 MM  0.01									
Feature NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL BONUS									
CYL1 0.000 0.010 0.168 0.168 0.158									
CYL2 0.000 0.010 0.138 0.138 0.128									
CYL3 0.000 0.010 0.099 0.099 0.089									
CYL4 0.000 0.010 0.091 0.091 0.081									
⊕ MM LOC1 - CYL1									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
X 10.000 0.100 0.100 10.066 0.066 0.000									
Y 10.000 0.100 0.100 10.144 0.144 0.044									
D 15.000 0.100 0.100 14.770 -0.230 -0.130									
⊕ MM LOC2 - CYL2									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
X 40.000 0.100 0.100 39.766 -0.234 -0.134									
Y 40.000 0.100 0.100 39.872 -0.128 -0.028									
D 15.000 0.100 0.100 14.752 -0.248 -0.148									

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.791	-0.209	-0.109	
Y	10.000	0.100	0.100	10.066	0.066	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.741	-0.259	-0.159	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	10.031	0.031	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.950	-0.050	0.000	
D	5.000	0.100	0.100	4.818	-0.182	-0.082	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	10.019	0.019	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	10.221	0.221	0.121	
D	15.000	0.100	0.100	14.770	-0.230	-0.130	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.715	-0.285	-0.185	
Y	40.000	0.100	0.100	39.875	-0.125	-0.025	
D	15.000	0.100	0.100	14.752	-0.248	-0.148	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.814	-0.186	-0.086	
Y	10.000	0.100	0.100	10.099	0.099	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.741	-0.259	-0.159	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.992	-0.008	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	40.049	0.049	0.000	
D	5.000	0.100	0.100	4.818	-0.182	-0.082	

		PART NAME : provino 5				novembre 22, 2018		11:27		
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.892	0.892	0.792				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.458	0.458	0.358				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	53.702	3.702	3.602				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.640	0.640	0.540				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	49.672	-0.328	-0.228				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.682	0.682	0.582				
FCFFLAT1	MM		0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS			
PLN1	0.000	0.010		0.147	0.147	0.137				
PLN3	0.000	0.010		0.027	0.027	0.017				
PLN2	0.000	0.010		0.038	0.038	0.028				
FCFCYL1	MM		0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS			
CYL1	0.000	0.010		0.184	0.184	0.174				
CYL2	0.000	0.010		0.126	0.126	0.116				
CYL3	0.000	0.010		0.097	0.097	0.087				
CYL4	0.000	0.010		0.117	0.117	0.107				
$\oplus$		MM	LOC1 - CYL1							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
X	10.000	0.100	0.100	9.911	-0.089	0.000				
Y	10.000	0.100	0.100	9.864	-0.136	-0.036				
D	15.000	0.100	0.100	14.796	-0.204	-0.104				
$\oplus$		MM	LOC2 - CYL2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
X	40.000	0.100	0.100	39.727	-0.273	-0.173				
Y	40.000	0.100	0.100	39.296	-0.704	-0.604				
D	15.000	0.100	0.100	14.719	-0.281	-0.181				

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.692	-0.308	-0.208	
Y	10.000	0.100	0.100	9.708	-0.292	-0.192	
D	10.000	0.100	0.100	9.863	-0.137	-0.037	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.966	-0.034	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.481	-0.519	-0.419	
D	5.000	0.100	0.100	4.777	-0.223	-0.123	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.898	-0.102	-0.002	
Y	10.000	0.100	0.100	9.826	-0.174	-0.074	
D	15.000	0.100	0.100	14.796	-0.204	-0.104	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.742	-0.258	-0.158	
Y	40.000	0.100	0.100	39.389	-0.611	-0.511	
D	15.000	0.100	0.100	14.719	-0.281	-0.181	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.729	-0.271	-0.171	
Y	10.000	0.100	0.100	9.715	-0.285	-0.185	
D	10.000	0.100	0.100	9.863	-0.137	-0.037	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	10.002	0.002	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.620	-0.380	-0.280	
D	5.000	0.100	0.100	4.777	-0.223	-0.123	

		PART NAME : provino 5				novembre 22, 2018		11:36	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.899	0.899	0.799			
↔		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.455	0.455	0.355			
↔		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	53.706	3.706	3.606			
↔		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.628	0.628	0.528			
↔		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.678	-0.322	-0.222			
↔		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.689	0.689	0.589			
FCFFLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
PLN1	0.000	0.010		0.145	0.145	0.135			
PLN3	0.000	0.010		0.021	0.021	0.011			
PLN2	0.000	0.010		0.045	0.045	0.035			
FCFCYL1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
CYL1	0.000	0.010		0.185	0.185	0.175			
CYL2	0.000	0.010		0.122	0.122	0.112			
CYL3	0.000	0.010		0.091	0.091	0.081			
CYL4	0.000	0.010		0.119	0.119	0.109			
⊕		MM	LOC1 - CYL1						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	10.000	0.100	0.100	9.919	-0.081	0.000			
Y	10.000	0.100	0.100	9.892	-0.108	-0.008			
D	15.000	0.100	0.100	14.797	-0.203	-0.103			
⊕		MM	LOC2 - CYL2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	40.000	0.100	0.100	39.714	-0.286	-0.186			
Y	40.000	0.100	0.100	39.344	-0.656	-0.556			
D	15.000	0.100	0.100	14.712	-0.288	-0.188			

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.699	-0.301	-0.201	
Y	10.000	0.100	0.100	9.754	-0.246	-0.146	
D	10.000	0.100	0.100	9.864	-0.136	-0.036	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.955	-0.045	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.510	-0.490	-0.390	
D	5.000	0.100	0.100	4.779	-0.221	-0.121	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.903	-0.097	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	9.852	-0.148	-0.048	
D	15.000	0.100	0.100	14.797	-0.203	-0.103	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.736	-0.264	-0.164	
Y	40.000	0.100	0.100	39.437	-0.563	-0.463	
D	15.000	0.100	0.100	14.712	-0.288	-0.188	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.732	-0.268	-0.168	
Y	10.000	0.100	0.100	9.759	-0.241	-0.141	
D	10.000	0.100	0.100	9.864	-0.136	-0.036	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.981	-0.019	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.644	-0.356	-0.256	
D	5.000	0.100	0.100	4.779	-0.221	-0.121	

		PART NAME : provino 5				novembre 22, 2018	11:45
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1	
↔	MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.900	0.900	0.800	
↔	MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.455	0.455	0.355	
↔	MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	53.713	3.713	3.613	
↔	MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.605	0.605	0.505	
↔	MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	49.676	-0.324	-0.224	
↔	MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.696	0.696	0.596	
FCFFLAT1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
PLN1	0.000	0.010		0.131	0.131	0.121	
PLN3	0.000	0.010		0.022	0.022	0.012	
PLN2	0.000	0.010		0.055	0.055	0.045	
FCFCYL1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
CYL1	0.000	0.010		0.186	0.186	0.176	
CYL2	0.000	0.010		0.124	0.124	0.114	
CYL3	0.000	0.010		0.093	0.093	0.083	
CYL4	0.000	0.010		0.124	0.124	0.114	
⊕	MM	LOC1 - CYL1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.922	-0.078	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	9.932	-0.068	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.801	-0.199	-0.099	
⊕	MM	LOC2 - CYL2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.706	-0.294	-0.194	
Y	40.000	0.100	0.100	39.388	-0.612	-0.512	
D	15.000	0.100	0.100	14.712	-0.288	-0.188	

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.698	-0.302	-0.202	
Y	10.000	0.100	0.100	9.800	-0.200	-0.100	
D	10.000	0.100	0.100	9.869	-0.131	-0.031	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.954	-0.046	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.549	-0.451	-0.351	
D	5.000	0.100	0.100	4.782	-0.218	-0.118	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.913	-0.087	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	9.893	-0.107	-0.007	
D	15.000	0.100	0.100	14.801	-0.199	-0.099	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.745	-0.255	-0.155	
Y	40.000	0.100	0.100	39.480	-0.520	-0.420	
D	15.000	0.100	0.100	14.712	-0.288	-0.188	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.733	-0.267	-0.167	
Y	10.000	0.100	0.100	9.807	-0.193	-0.093	
D	10.000	0.100	0.100	9.869	-0.131	-0.031	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.971	-0.029	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.683	-0.317	-0.217	
D	5.000	0.100	0.100	4.782	-0.218	-0.118	

		PART NAME : provino 7				novembre 22, 2018		11:54		
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.837	0.837	0.737				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.402	0.402	0.302				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	53.695	3.695	3.595				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.671	0.671	0.571				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	49.616	-0.384	-0.284				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.583	0.583	0.483				
FCFFLAT1	MM		0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS			
PLN1	0.000	0.010		0.189	0.189	0.179				
PLN3	0.000	0.010		0.023	0.023	0.013				
PLN2	0.000	0.010		0.083	0.083	0.073				
FCFCYL1	MM		0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS			
CYL1	0.000	0.010		0.139	0.139	0.129				
CYL2	0.000	0.010		0.140	0.140	0.130				
CYL3	0.000	0.010		0.064	0.064	0.054				
CYL4	0.000	0.010		0.078	0.078	0.068				
$\oplus$		MM	LOC1 - CYL1							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
X	10.000	0.100	0.100	9.968	-0.032	0.000				
Y	10.000	0.100	0.100	9.904	-0.096	0.000				
D	15.000	0.100	0.100	14.817	-0.183	-0.083				
$\oplus$		MM	LOC2 - CYL2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
X	40.000	0.100	0.100	39.694	-0.306	-0.206				
Y	40.000	0.100	0.100	39.591	-0.409	-0.309				
D	15.000	0.100	0.100	14.667	-0.333	-0.233				

#		MM	LOC3 - CYL3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.658	-0.342	-0.242		
Y	10.000	0.100	0.100	9.795	-0.205	-0.105		
D	10.000	0.100	0.100	9.830	-0.170	-0.070		
#		MM	LOC4 - CYL4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.968	-0.032	0.000		
Y	40.000	0.100	0.100	39.651	-0.349	-0.249		
D	5.000	0.100	0.100	4.746	-0.254	-0.154		
#		MM	LOC5 - CIR1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.983	-0.017	0.000		
Y	10.000	0.100	0.100	9.850	-0.150	-0.050		
D	15.000	0.100	0.100	14.817	-0.183	-0.083		
#		MM	LOC6 - CIR2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.661	-0.339	-0.239		
Y	40.000	0.100	0.100	39.709	-0.291	-0.191		
D	15.000	0.100	0.100	14.667	-0.333	-0.233		
#		MM	LOC7 - CIR3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.657	-0.343	-0.243		
Y	10.000	0.100	0.100	9.772	-0.228	-0.128		
D	10.000	0.100	0.100	9.830	-0.170	-0.070		
#		MM	LOC8 - CIR4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.949	-0.051	0.000		
Y	40.000	0.100	0.100	39.729	-0.271	-0.171		
D	5.000	0.100	0.100	4.746	-0.254	-0.154		

		PART NAME : provino 7				novembre 22, 2018		12:04		
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.839	0.839	0.739				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.400	0.400	0.300				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	53.705	3.705	3.605				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.665	0.665	0.565				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	49.620	-0.380	-0.280				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.591	0.591	0.491				
FCFFLAT1	MM		0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS			
PLN1	0.000	0.010		0.181	0.181	0.171				
PLN3	0.000	0.010		0.022	0.022	0.012				
PLN2	0.000	0.010		0.080	0.080	0.070				
FCFCYL1	MM		0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS			
CYL1	0.000	0.010		0.143	0.143	0.133				
CYL2	0.000	0.010		0.143	0.143	0.133				
CYL3	0.000	0.010		0.066	0.066	0.056				
CYL4	0.000	0.010		0.080	0.080	0.070				
$\oplus$		MM	LOC1 - CYL1							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
X	10.000	0.100	0.100	9.969	-0.031	0.000				
Y	10.000	0.100	0.100	9.954	-0.046	0.000				
D	15.000	0.100	0.100	14.814	-0.186	-0.086				
$\oplus$		MM	LOC2 - CYL2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
X	40.000	0.100	0.100	39.677	-0.323	-0.223				
Y	40.000	0.100	0.100	39.653	-0.347	-0.247				
D	15.000	0.100	0.100	14.669	-0.331	-0.231				

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.662	-0.338	-0.238	
Y	10.000	0.100	0.100	9.857	-0.143	-0.043	
D	10.000	0.100	0.100	9.830	-0.170	-0.070	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.961	-0.039	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.699	-0.301	-0.201	
D	5.000	0.100	0.100	4.751	-0.249	-0.149	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.987	-0.013	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	9.896	-0.104	-0.004	
D	15.000	0.100	0.100	14.814	-0.186	-0.086	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.642	-0.358	-0.258	
Y	40.000	0.100	0.100	39.771	-0.229	-0.129	
D	15.000	0.100	0.100	14.669	-0.331	-0.231	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.658	-0.342	-0.242	
Y	10.000	0.100	0.100	9.830	-0.170	-0.070	
D	10.000	0.100	0.100	9.830	-0.170	-0.070	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.937	-0.063	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.771	-0.229	-0.129	
D	5.000	0.100	0.100	4.751	-0.249	-0.149	

		PART NAME : provino 7				novembre 22, 2018		12:12	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.838	0.838	0.738			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.402	0.402	0.302			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	53.702	3.702	3.602			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.667	0.667	0.567			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.616	-0.384	-0.284			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.582	0.582	0.482			
FCFFLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
PLN1	0.000	0.010		0.180	0.180	0.170			
PLN3	0.000	0.010		0.021	0.021	0.011			
PLN2	0.000	0.010		0.081	0.081	0.071			
FCFCYL1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
CYL1	0.000	0.010		0.140	0.140	0.130			
CYL2	0.000	0.010		0.140	0.140	0.130			
CYL3	0.000	0.010		0.066	0.066	0.056			
CYL4	0.000	0.010		0.080	0.080	0.070			
$\oplus$		MM	LOC1 - CYL1						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	10.000	0.100	0.100	9.967	-0.033	0.000			
Y	10.000	0.100	0.100	9.924	-0.076	0.000			
D	15.000	0.100	0.100	14.815	-0.185	-0.085			
$\oplus$		MM	LOC2 - CYL2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	40.000	0.100	0.100	39.686	-0.314	-0.214			
Y	40.000	0.100	0.100	39.617	-0.383	-0.283			
D	15.000	0.100	0.100	14.669	-0.331	-0.231			

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.659	-0.341	-0.241	
Y	10.000	0.100	0.100	9.820	-0.180	-0.080	
D	10.000	0.100	0.100	9.830	-0.170	-0.070	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.964	-0.036	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.668	-0.332	-0.232	
D	5.000	0.100	0.100	4.749	-0.251	-0.151	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.984	-0.016	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	9.865	-0.135	-0.035	
D	15.000	0.100	0.100	14.815	-0.185	-0.085	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.650	-0.350	-0.250	
Y	40.000	0.100	0.100	39.733	-0.267	-0.167	
D	15.000	0.100	0.100	14.669	-0.331	-0.231	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.656	-0.344	-0.244	
Y	10.000	0.100	0.100	9.793	-0.207	-0.107	
D	10.000	0.100	0.100	9.830	-0.170	-0.070	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.945	-0.055	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.742	-0.258	-0.158	
D	5.000	0.100	0.100	4.749	-0.251	-0.151	

		PART NAME : provino 9				novembre 22, 2018		11:00	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.839	0.839	0.739			
↔		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.416	0.416	0.316			
↔		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	53.659	3.659	3.559			
↔		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.593	0.593	0.493			
↔		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.718	-0.282	-0.182			
↔		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.671	0.671	0.571			
FCFFLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
PLN1	0.000	0.010		0.098	0.098	0.088			
PLN3	0.000	0.010		0.013	0.013	0.003			
PLN2	0.000	0.010		0.044	0.044	0.034			
FCFCYL1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
CYL1	0.000	0.010		0.182	0.182	0.172			
CYL2	0.000	0.010		0.328	0.328	0.318			
CYL3	0.000	0.010		0.260	0.260	0.250			
CYL4	0.000	0.010		0.116	0.116	0.106			
⊕		MM	LOC1 - CYL1						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	10.000	0.100	0.100	9.909	-0.091	0.000			
Y	10.000	0.100	0.100	10.024	0.024	0.000			
D	15.000	0.100	0.100	14.724	-0.276	-0.176			
⊕		MM	LOC2 - CYL2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	40.000	0.100	0.100	39.744	-0.256	-0.156			
Y	40.000	0.100	0.100	39.462	-0.538	-0.438			
D	15.000	0.100	0.100	14.284	-0.716	-0.616			

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.632	-0.368	-0.268	
Y	10.000	0.100	0.100	9.992	-0.008	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.615	-0.385	-0.285	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	10.001	0.001	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.517	-0.483	-0.383	
D	5.000	0.100	0.100	4.530	-0.470	-0.370	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.906	-0.094	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	9.996	-0.004	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.724	-0.276	-0.176	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.716	-0.284	-0.184	
Y	40.000	0.100	0.100	39.444	-0.556	-0.456	
D	15.000	0.100	0.100	14.284	-0.716	-0.616	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.587	-0.413	-0.313	
Y	10.000	0.100	0.100	9.964	-0.036	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.615	-0.385	-0.285	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.968	-0.032	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.549	-0.451	-0.351	
D	5.000	0.100	0.100	4.530	-0.470	-0.370	

		PART NAME : provino 9				novembre 22, 2018		11:08	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔ MM DIST1 - PNT5 TO PLN3									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 50.835 0.835 0.735									
↔ MM DIST1 - PNT6 TO PLN3									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 50.418 0.418 0.318									
↔ MM DIST1 - PNT7 TO PLN3									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 53.655 3.655 3.555									
↔ MM DIST2 - PNT2 TO PLN2									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 50.594 0.594 0.494									
↔ MM DIST2 - PNT3 TO PLN2									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 49.715 -0.285 -0.185									
↔ MM DIST2 - PNT4 TO PLN2									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 50.663 0.663 0.563									
FCFFLAT1 MM  0.01									
Feature NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL BONUS									
PLN1 0.000 0.010 0.102 0.102 0.092									
PLN3 0.000 0.010 0.013 0.013 0.003									
PLN2 0.000 0.010 0.042 0.042 0.032									
FCFCYL1 MM  0.01									
Feature NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL BONUS									
CYL1 0.000 0.010 0.180 0.180 0.170									
CYL2 0.000 0.010 0.324 0.324 0.314									
CYL3 0.000 0.010 0.262 0.262 0.252									
CYL4 0.000 0.010 0.115 0.115 0.105									
⊕ MM LOC1 - CYL1									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
X 10.000 0.100 0.100 9.901 -0.099 0.000									
Y 10.000 0.100 0.100 10.020 0.020 0.000									
D 15.000 0.100 0.100 14.724 -0.276 -0.176									
⊕ MM LOC2 - CYL2									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
X 40.000 0.100 0.100 39.746 -0.254 -0.154									
Y 40.000 0.100 0.100 39.447 -0.553 -0.453									
D 15.000 0.100 0.100 14.284 -0.716 -0.616									

#		MM	LOC3 - CYL3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.623	-0.377	-0.277		
Y	10.000	0.100	0.100	9.980	-0.020	0.000		
D	10.000	0.100	0.100	9.612	-0.388	-0.288		
#		MM	LOC4 - CYL4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	10.001	0.001	0.000		
Y	40.000	0.100	0.100	39.511	-0.489	-0.389		
D	5.000	0.100	0.100	4.528	-0.472	-0.372		
#		MM	LOC5 - CIR1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.901	-0.099	0.000		
Y	10.000	0.100	0.100	9.995	-0.005	0.000		
D	15.000	0.100	0.100	14.724	-0.276	-0.176		
#		MM	LOC6 - CIR2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.722	-0.278	-0.178		
Y	40.000	0.100	0.100	39.433	-0.567	-0.467		
D	15.000	0.100	0.100	14.284	-0.716	-0.616		
#		MM	LOC7 - CIR3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.581	-0.419	-0.319		
Y	10.000	0.100	0.100	9.952	-0.048	0.000		
D	10.000	0.100	0.100	9.612	-0.388	-0.288		
#		MM	LOC8 - CIR4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.970	-0.030	0.000		
Y	40.000	0.100	0.100	39.545	-0.455	-0.355		
D	5.000	0.100	0.100	4.528	-0.472	-0.372		

		PART NAME : provino 9				novembre 22, 2018		11:18		
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.838	0.838	0.738				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.416	0.416	0.316				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	53.660	3.660	3.560				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.596	0.596	0.496				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	49.716	-0.284	-0.184				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.669	0.669	0.569				
FCFFLAT1	MM		0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS			
PLN1	0.000	0.010		0.106	0.106	0.096				
PLN3	0.000	0.010		0.008	0.008	0.000				
PLN2	0.000	0.010		0.042	0.042	0.032				
FCFCYL1	MM		0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS			
CYL1	0.000	0.010		0.184	0.184	0.174				
CYL2	0.000	0.010		0.316	0.316	0.306				
CYL3	0.000	0.010		0.255	0.255	0.245				
CYL4	0.000	0.010		0.117	0.117	0.107				
$\oplus$		MM	LOC1 - CYL1							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
X	10.000	0.100	0.100	9.916	-0.084	0.000				
Y	10.000	0.100	0.100	10.021	0.021	0.000				
D	15.000	0.100	0.100	14.722	-0.278	-0.178				
$\oplus$		MM	LOC2 - CYL2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
X	40.000	0.100	0.100	39.752	-0.248	-0.148				
Y	40.000	0.100	0.100	39.450	-0.550	-0.450				
D	15.000	0.100	0.100	14.289	-0.711	-0.611				

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.638	-0.362	-0.262	
Y	10.000	0.100	0.100	9.983	-0.017	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.617	-0.383	-0.283	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	10.008	0.008	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.510	-0.490	-0.390	
D	5.000	0.100	0.100	4.528	-0.472	-0.372	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.917	-0.083	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	10.000	0.000	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.722	-0.278	-0.178	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.726	-0.274	-0.174	
Y	40.000	0.100	0.100	39.437	-0.563	-0.463	
D	15.000	0.100	0.100	14.289	-0.711	-0.611	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.598	-0.402	-0.302	
Y	10.000	0.100	0.100	9.957	-0.043	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.617	-0.383	-0.283	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.979	-0.021	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.546	-0.454	-0.354	
D	5.000	0.100	0.100	4.528	-0.472	-0.372	

		PART NAME : provino 10				novembre 22, 2018		10:20	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PLN3 TO PNT5						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	51.473	1.473	1.373			
↔		MM	DIST1 - PLN3 TO PNT6						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	51.018	1.018	0.918			
↔		MM	DIST1 - PLN3 TO PNT7						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	54.291	4.291	4.191			
↔		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.565	0.565	0.465			
↔		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.620	-0.380	-0.280			
↔		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.580	0.580	0.480			
FCFFLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
PLN1	0.000	0.010		0.109	0.109	0.099			
PLN3	0.000	0.010		0.025	0.025	0.015			
PLN2	0.000	0.010		0.109	0.109	0.099			
FCFCYL1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
CYL1	0.000	0.010		0.186	0.186	0.176			
CYL2	0.000	0.010		0.383	0.383	0.373			
CYL3	0.000	0.010		0.156	0.156	0.146			
CYL4	0.000	0.010		0.087	0.087	0.077			
⊕		MM	LOC1 - CYL1						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	10.000	0.100	0.100	9.878	-0.122	-0.022			
Y	10.000	0.100	0.100	10.055	0.055	0.000			
D	15.000	0.100	0.100	14.687	-0.313	-0.213			
⊕		MM	LOC2 - CYL2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	40.000	0.100	0.100	39.732	-0.268	-0.168			
Y	40.000	0.100	0.100	39.481	-0.519	-0.419			
D	15.000	0.100	0.100	14.326	-0.674	-0.574			

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.641	-0.359	-0.259	
Y	10.000	0.100	0.100	9.969	-0.031	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.731	-0.269	-0.169	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.948	-0.052	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.535	-0.465	-0.365	
D	5.000	0.100	0.100	4.504	-0.496	-0.396	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.869	-0.131	-0.031	
Y	10.000	0.100	0.100	9.952	-0.048	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.687	-0.313	-0.213	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.723	-0.277	-0.177	
Y	40.000	0.100	0.100	39.427	-0.573	-0.473	
D	15.000	0.100	0.100	14.326	-0.674	-0.574	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.642	-0.358	-0.258	
Y	10.000	0.100	0.100	9.926	-0.074	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.731	-0.269	-0.169	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.957	-0.043	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.522	-0.478	-0.378	
D	5.000	0.100	0.100	4.504	-0.496	-0.396	

		PART NAME : provino 10				novembre 22, 2018		10:41	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	51.460	1.460	1.360			
↔		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	51.023	1.023	0.923			
↔		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	54.268	4.268	4.168			
↔		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.573	0.573	0.473			
↔		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.608	-0.392	-0.292			
↔		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.577	0.577	0.477			
FCFFLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
PLN1	0.000	0.010		0.115	0.115	0.105			
PLN3	0.000	0.010		0.021	0.021	0.011			
PLN2	0.000	0.010		0.121	0.121	0.111			
FCFCYL1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
CYL1	0.000	0.010		0.186	0.186	0.176			
CYL2	0.000	0.010		0.376	0.376	0.366			
CYL3	0.000	0.010		0.152	0.152	0.142			
CYL4	0.000	0.010		0.086	0.086	0.076			
⊕		MM	LOC1 - CYL1						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	10.000	0.100	0.100	9.856	-0.144	-0.044			
Y	10.000	0.100	0.100	10.064	0.064	0.000			
D	15.000	0.100	0.100	14.689	-0.311	-0.211			
⊕		MM	LOC2 - CYL2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	40.000	0.100	0.100	39.740	-0.260	-0.160			
Y	40.000	0.100	0.100	39.454	-0.546	-0.446			
D	15.000	0.100	0.100	14.328	-0.672	-0.572			

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.620	-0.380	-0.280	
Y	10.000	0.100	0.100	9.944	-0.056	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.730	-0.270	-0.170	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.959	-0.041	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.544	-0.456	-0.356	
D	5.000	0.100	0.100	4.503	-0.497	-0.397	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.856	-0.144	-0.044	
Y	10.000	0.100	0.100	9.964	-0.036	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.689	-0.311	-0.211	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.742	-0.258	-0.158	
Y	40.000	0.100	0.100	39.404	-0.596	-0.496	
D	15.000	0.100	0.100	14.328	-0.672	-0.572	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.632	-0.368	-0.268	
Y	10.000	0.100	0.100	9.900	-0.100	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.730	-0.270	-0.170	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.975	-0.025	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.533	-0.467	-0.367	
D	5.000	0.100	0.100	4.503	-0.497	-0.397	

		PART NAME : provino 10				novembre 22, 2018		10:50	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	51.467	1.467	1.367			
↔		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	51.021	1.021	0.921			
↔		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	54.280	4.280	4.180			
↔		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.568	0.568	0.468			
↔		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.610	-0.390	-0.290			
↔		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.589	0.589	0.489			
FCFFLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
PLN1	0.000	0.010		0.107	0.107	0.097			
PLN3	0.000	0.010		0.024	0.024	0.014			
PLN2	0.000	0.010		0.108	0.108	0.098			
FCFCYL1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
CYL1	0.000	0.010		0.187	0.187	0.177			
CYL2	0.000	0.010		0.378	0.378	0.368			
CYL3	0.000	0.010		0.152	0.152	0.142			
CYL4	0.000	0.010		0.085	0.085	0.075			
⊕		MM	LOC1 - CYL1						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	10.000	0.100	0.100	9.866	-0.134	-0.034			
Y	10.000	0.100	0.100	10.050	0.050	0.000			
D	15.000	0.100	0.100	14.689	-0.311	-0.211			
⊕		MM	LOC2 - CYL2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	40.000	0.100	0.100	39.733	-0.267	-0.167			
Y	40.000	0.100	0.100	39.456	-0.544	-0.444			
D	15.000	0.100	0.100	14.328	-0.672	-0.572			

#		MM	LOC3 - CYL3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.629	-0.371	-0.271		
Y	10.000	0.100	0.100	9.948	-0.052	0.000		
D	10.000	0.100	0.100	9.731	-0.269	-0.169		
#		MM	LOC4 - CYL4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.953	-0.047	0.000		
Y	40.000	0.100	0.100	39.529	-0.471	-0.371		
D	5.000	0.100	0.100	4.501	-0.499	-0.399		
#		MM	LOC5 - CIR1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.866	-0.134	-0.034		
Y	10.000	0.100	0.100	9.946	-0.054	0.000		
D	15.000	0.100	0.100	14.689	-0.311	-0.211		
#		MM	LOC6 - CIR2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.733	-0.267	-0.167		
Y	40.000	0.100	0.100	39.405	-0.595	-0.495		
D	15.000	0.100	0.100	14.328	-0.672	-0.572		
#		MM	LOC7 - CIR3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.641	-0.359	-0.259		
Y	10.000	0.100	0.100	9.899	-0.101	-0.001		
D	10.000	0.100	0.100	9.731	-0.269	-0.169		
#		MM	LOC8 - CIR4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.969	-0.031	0.000		
Y	40.000	0.100	0.100	39.515	-0.485	-0.385		
D	5.000	0.100	0.100	4.501	-0.499	-0.399		

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019		10:28	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.709	0.709	0.609			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.248	0.248	0.148			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	53.554	3.554	3.454			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.382	0.382	0.282			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.389	-0.611	-0.511			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.394	0.394	0.294			
FCFFLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
PLN1	0.000	0.010		0.064	0.064	0.054			
PLN3	0.000	0.010		0.017	0.017	0.007			
PLN2	0.000	0.010		0.039	0.039	0.029			
FCFCYL1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
CYL1	0.000	0.010		0.142	0.142	0.132			
CYL2	0.000	0.010		0.133	0.133	0.123			
CYL3	0.000	0.010		0.106	0.106	0.096			
CYL4	0.000	0.010		0.076	0.076	0.066			
$\oplus$		MM	LOC1 - CYL1						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	10.000	0.100	0.100	9.836	-0.164	-0.064			
Y	10.000	0.100	0.100	9.751	-0.249	-0.149			
D	15.000	0.100	0.100	14.964	-0.036	0.000			
$\oplus$		MM	LOC2 - CYL2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	40.000	0.100	0.100	39.557	-0.443	-0.343			
Y	40.000	0.100	0.100	39.398	-0.602	-0.502			
D	15.000	0.100	0.100	14.906	-0.094	0.000			

#	MM	LOC3 - CYL3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.540	-0.460	-0.360	
Y	10.000	0.100	0.100	9.674	-0.326	-0.226	
D	10.000	0.100	0.100	9.997	-0.003	0.000	
#	MM	LOC4 - CYL4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.826	-0.174	-0.074	
Y	40.000	0.100	0.100	39.505	-0.495	-0.395	
D	5.000	0.100	0.100	4.839	-0.161	-0.061	
#	MM	LOC5 - CIR1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.849	-0.151	-0.051	
Y	10.000	0.100	0.100	9.739	-0.261	-0.161	
D	15.000	0.100	0.100	14.964	-0.036	0.000	
#	MM	LOC6 - CIR2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.535	-0.465	-0.365	
Y	40.000	0.100	0.100	39.412	-0.588	-0.488	
D	15.000	0.100	0.100	14.906	-0.094	0.000	
#	MM	LOC7 - CIR3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.552	-0.448	-0.348	
Y	10.000	0.100	0.100	9.683	-0.317	-0.217	
D	10.000	0.100	0.100	9.997	-0.003	0.000	
#	MM	LOC8 - CIR4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.860	-0.140	-0.040	
Y	40.000	0.100	0.100	39.572	-0.428	-0.328	
D	5.000	0.100	0.100	4.839	-0.161	-0.061	

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019	10:35
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1	
↔	MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.710	0.710	0.610	
↔	MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.250	0.250	0.150	
↔	MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	53.554	3.554	3.454	
↔	MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.387	0.387	0.287	
↔	MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	49.394	-0.606	-0.506	
↔	MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.397	0.397	0.297	
FCFFLAT1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
PLN1	0.000	0.010		0.061	0.061	0.051	
PLN3	0.000	0.010		0.016	0.016	0.006	
PLN2	0.000	0.010		0.039	0.039	0.029	
FCFCYL1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
CYL1	0.000	0.010		0.141	0.141	0.131	
CYL2	0.000	0.010		0.132	0.132	0.122	
CYL3	0.000	0.010		0.105	0.105	0.095	
CYL4	0.000	0.010		0.078	0.078	0.068	
⊕	MM	LOC1 - CYL1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.842	-0.158	-0.058	
Y	10.000	0.100	0.100	9.754	-0.246	-0.146	
D	15.000	0.100	0.100	14.963	-0.037	0.000	
⊕	MM	LOC2 - CYL2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.571	-0.429	-0.329	
Y	40.000	0.100	0.100	39.397	-0.603	-0.503	
D	15.000	0.100	0.100	14.902	-0.098	0.000	

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.550	-0.450	-0.350	
Y	10.000	0.100	0.100	9.673	-0.327	-0.227	
D	10.000	0.100	0.100	9.996	-0.004	0.000	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.843	-0.157	-0.057	
Y	40.000	0.100	0.100	39.511	-0.489	-0.389	
D	5.000	0.100	0.100	4.835	-0.165	-0.065	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.854	-0.146	-0.046	
Y	10.000	0.100	0.100	9.743	-0.257	-0.157	
D	15.000	0.100	0.100	14.963	-0.037	0.000	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.548	-0.452	-0.352	
Y	40.000	0.100	0.100	39.414	-0.586	-0.486	
D	15.000	0.100	0.100	14.902	-0.098	0.000	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.561	-0.439	-0.339	
Y	10.000	0.100	0.100	9.684	-0.316	-0.216	
D	10.000	0.100	0.100	9.996	-0.004	0.000	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.879	-0.121	-0.021	
Y	40.000	0.100	0.100	39.579	-0.421	-0.321	
D	5.000	0.100	0.100	4.835	-0.165	-0.065	

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019	10:42
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1	
↔	MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.714	0.714	0.614	
↔	MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.252	0.252	0.152	
↔	MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	53.558	3.558	3.458	
↔	MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.395	0.395	0.295	
↔	MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	49.400	-0.600	-0.500	
↔	MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.402	0.402	0.302	
FCFFLAT1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
PLN1	0.000	0.010		0.061	0.061	0.051	
PLN3	0.000	0.010		0.015	0.015	0.005	
PLN2	0.000	0.010		0.039	0.039	0.029	
FCFCYL1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
CYL1	0.000	0.010		0.139	0.139	0.129	
CYL2	0.000	0.010		0.131	0.131	0.121	
CYL3	0.000	0.010		0.105	0.105	0.095	
CYL4	0.000	0.010		0.080	0.080	0.070	
⊕	MM	LOC1 - CYL1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.843	-0.157	-0.057	
Y	10.000	0.100	0.100	9.763	-0.237	-0.137	
D	15.000	0.100	0.100	14.961	-0.039	0.000	
⊕	MM	LOC2 - CYL2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.580	-0.420	-0.320	
Y	40.000	0.100	0.100	39.401	-0.599	-0.499	
D	15.000	0.100	0.100	14.900	-0.100	0.000	

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.553	-0.447	-0.347	
Y	10.000	0.100	0.100	9.676	-0.324	-0.224	
D	10.000	0.100	0.100	9.996	-0.004	0.000	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.853	-0.147	-0.047	
Y	40.000	0.100	0.100	39.522	-0.478	-0.378	
D	5.000	0.100	0.100	4.833	-0.167	-0.067	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.855	-0.145	-0.045	
Y	10.000	0.100	0.100	9.751	-0.249	-0.149	
D	15.000	0.100	0.100	14.961	-0.039	0.000	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.557	-0.443	-0.343	
Y	40.000	0.100	0.100	39.419	-0.581	-0.481	
D	15.000	0.100	0.100	14.900	-0.100	0.000	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.564	-0.436	-0.336	
Y	10.000	0.100	0.100	9.689	-0.311	-0.211	
D	10.000	0.100	0.100	9.996	-0.004	0.000	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.888	-0.112	-0.012	
Y	40.000	0.100	0.100	39.590	-0.410	-0.310	
D	5.000	0.100	0.100	4.833	-0.167	-0.067	

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019	10:49
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1	
↔	MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.740	0.740	0.640	
↔	MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.283	0.283	0.183	
↔	MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	53.593	3.593	3.493	
↔	MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.293	0.293	0.193	
↔	MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	49.340	-0.660	-0.560	
↔	MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.332	0.332	0.232	
FCFFLAT1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
PLN1	0.000	0.010		0.052	0.052	0.042	
PLN3	0.000	0.010		0.105	0.105	0.095	
PLN2	0.000	0.010		0.039	0.039	0.029	
FCFCYL1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
CYL1	0.000	0.010		0.222	0.222	0.212	
CYL2	0.000	0.010		0.420	0.420	0.410	
CYL3	0.000	0.010		0.245	0.245	0.235	
CYL4	0.000	0.010		0.185	0.185	0.175	
⊕	MM	LOC1 - CYL1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.753	-0.247	-0.147	
Y	10.000	0.100	0.100	9.974	-0.026	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.876	-0.124	-0.024	
⊕	MM	LOC2 - CYL2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.567	-0.433	-0.333	
Y	40.000	0.100	0.100	39.447	-0.553	-0.453	
D	15.000	0.100	0.100	14.523	-0.477	-0.377	

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.504	-0.496	-0.396	
Y	10.000	0.100	0.100	9.919	-0.081	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.833	-0.167	-0.067	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.827	-0.173	-0.073	
Y	40.000	0.100	0.100	39.492	-0.508	-0.408	
D	5.000	0.100	0.100	4.653	-0.347	-0.247	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.771	-0.229	-0.129	
Y	10.000	0.100	0.100	9.948	-0.052	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.876	-0.124	-0.024	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.569	-0.431	-0.331	
Y	40.000	0.100	0.100	39.390	-0.610	-0.510	
D	15.000	0.100	0.100	14.523	-0.477	-0.377	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.480	-0.520	-0.420	
Y	10.000	0.100	0.100	9.968	-0.032	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.833	-0.167	-0.067	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.836	-0.164	-0.064	
Y	40.000	0.100	0.100	39.533	-0.467	-0.367	
D	5.000	0.100	0.100	4.653	-0.347	-0.247	

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019		10:55	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.735	0.735	0.635			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.280	0.280	0.180			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	53.588	3.588	3.488			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.294	0.294	0.194			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.340	-0.660	-0.560			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.330	0.330	0.230			
FCFFLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
PLN1	0.000	0.010		0.054	0.054	0.044			
PLN3	0.000	0.010		0.081	0.081	0.071			
PLN2	0.000	0.010		0.039	0.039	0.029			
FCFCYL1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
CYL1	0.000	0.010		0.222	0.222	0.212			
CYL2	0.000	0.010		0.421	0.421	0.411			
CYL3	0.000	0.010		0.246	0.246	0.236			
CYL4	0.000	0.010		0.185	0.185	0.175			
$\oplus$		MM	LOC1 - CYL1						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	10.000	0.100	0.100	9.747	-0.253	-0.153			
Y	10.000	0.100	0.100	9.976	-0.024	0.000			
D	15.000	0.100	0.100	14.877	-0.123	-0.023			
$\oplus$		MM	LOC2 - CYL2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	40.000	0.100	0.100	39.566	-0.434	-0.334			
Y	40.000	0.100	0.100	39.445	-0.555	-0.455			
D	15.000	0.100	0.100	14.523	-0.477	-0.377			

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.497	-0.503	-0.403	
Y	10.000	0.100	0.100	9.916	-0.084	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.834	-0.166	-0.066	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.825	-0.175	-0.075	
Y	40.000	0.100	0.100	39.495	-0.505	-0.405	
D	5.000	0.100	0.100	4.653	-0.347	-0.247	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.765	-0.235	-0.135	
Y	10.000	0.100	0.100	9.950	-0.050	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.877	-0.123	-0.023	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.568	-0.432	-0.332	
Y	40.000	0.100	0.100	39.388	-0.612	-0.512	
D	15.000	0.100	0.100	14.523	-0.477	-0.377	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.473	-0.527	-0.427	
Y	10.000	0.100	0.100	9.963	-0.037	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.834	-0.166	-0.066	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.834	-0.166	-0.066	
Y	40.000	0.100	0.100	39.536	-0.464	-0.364	
D	5.000	0.100	0.100	4.653	-0.347	-0.247	

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019		12:14	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.775	0.775	0.675			
↔		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.319	0.319	0.219			
↔		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	53.625	3.625	3.525			
↔		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.292	0.292	0.192			
↔		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.338	-0.662	-0.562			
↔		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.328	0.328	0.228			
FCFFLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
PLN1	0.000	0.010		0.051	0.051	0.041			
PLN3	0.000	0.010		0.328	0.328	0.318			
PLN2	0.000	0.010		0.039	0.039	0.029			
FCFCYL1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
CYL1	0.000	0.010		0.228	0.228	0.218			
CYL2	0.000	0.010		0.429	0.429	0.419			
CYL3	0.000	0.010		0.253	0.253	0.243			
CYL4	0.000	0.010		0.195	0.195	0.185			
⊕		MM	LOC1 - CYL1						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	10.000	0.100	0.100	9.748	-0.252	-0.152			
Y	10.000	0.100	0.100	9.973	-0.027	0.000			
D	15.000	0.100	0.100	14.869	-0.131	-0.031			
⊕		MM	LOC2 - CYL2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	40.000	0.100	0.100	39.564	-0.436	-0.336			
Y	40.000	0.100	0.100	39.444	-0.556	-0.456			
D	15.000	0.100	0.100	14.516	-0.484	-0.384			

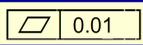
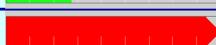
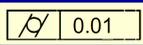
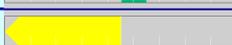
#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.497	-0.503	-0.403	
Y	10.000	0.100	0.100	9.914	-0.086	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.827	-0.173	-0.073	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.824	-0.176	-0.076	
Y	40.000	0.100	0.100	39.490	-0.510	-0.410	
D	5.000	0.100	0.100	4.644	-0.356	-0.256	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.766	-0.234	-0.134	
Y	10.000	0.100	0.100	9.947	-0.053	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.869	-0.131	-0.031	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.567	-0.433	-0.333	
Y	40.000	0.100	0.100	39.387	-0.613	-0.513	
D	15.000	0.100	0.100	14.516	-0.484	-0.384	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.473	-0.527	-0.427	
Y	10.000	0.100	0.100	9.960	-0.040	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.827	-0.173	-0.073	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.834	-0.166	-0.066	
Y	40.000	0.100	0.100	39.536	-0.464	-0.364	
D	5.000	0.100	0.100	4.644	-0.356	-0.256	

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019		11:51		
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	51.403	1.403	1.303				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.955	0.955	0.855				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	54.212	4.212	4.112				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.473	0.473	0.373				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	49.488	-0.512	-0.412				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.445	0.445	0.345				
FCFFLAT1	MM		0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS			
PLN1	0.000	0.010		0.049	0.049	0.039				
PLN3	0.000	0.010		0.003	0.003	0.000				
PLN2	0.000	0.010		0.071	0.071	0.061				
FCFCYL1	MM		0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS			
CYL1	0.000	0.010		0.190	0.190	0.180				
CYL2	0.000	0.010		0.328	0.328	0.318				
CYL3	0.000	0.010		0.163	0.163	0.153				
CYL4	0.000	0.010		0.106	0.106	0.096				
$\oplus$		MM	LOC1 - CYL1							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
X	10.000	0.100	0.100	9.819	-0.181	-0.081				
Y	10.000	0.100	0.100	10.020	0.020	0.000				
D	15.000	0.100	0.100	14.755	-0.245	-0.145				
$\oplus$		MM	LOC2 - CYL2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
X	40.000	0.100	0.100	39.671	-0.329	-0.229				
Y	40.000	0.100	0.100	39.423	-0.577	-0.477				
D	15.000	0.100	0.100	14.445	-0.555	-0.455				

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.566	-0.434	-0.334	
Y	10.000	0.100	0.100	9.929	-0.071	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.762	-0.238	-0.138	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.894	-0.106	-0.006	
Y	40.000	0.100	0.100	39.507	-0.493	-0.393	
D	5.000	0.100	0.100	4.525	-0.475	-0.375	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.788	-0.212	-0.112	
Y	10.000	0.100	0.100	9.917	-0.083	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.755	-0.245	-0.145	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.664	-0.336	-0.236	
Y	40.000	0.100	0.100	39.388	-0.612	-0.512	
D	15.000	0.100	0.100	14.445	-0.555	-0.455	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.572	-0.428	-0.328	
Y	10.000	0.100	0.100	9.872	-0.128	-0.028	
D	10.000	0.100	0.100	9.762	-0.238	-0.138	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.887	-0.113	-0.013	
Y	40.000	0.100	0.100	39.502	-0.498	-0.398	
D	5.000	0.100	0.100	4.525	-0.475	-0.375	

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019	12:00
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1	
↔	MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	51.408	1.408	1.308	
↔	MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.957	0.957	0.857	
↔	MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	54.218	4.218	4.118	
↔	MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.470	0.470	0.370	
↔	MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	49.487	-0.513	-0.413	
↔	MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.446	0.446	0.346	
FCFFLAT1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
PLN1	0.000	0.010		0.055	0.055	0.045	
PLN3	0.000	0.010		0.003	0.003	0.000	
PLN2	0.000	0.010		0.070	0.070	0.060	
FCFCYLY1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
CYL1	0.000	0.010		0.191	0.191	0.181	
CYL2	0.000	0.010		0.331	0.331	0.321	
CYL3	0.000	0.010		0.165	0.165	0.155	
CYL4	0.000	0.010		0.109	0.109	0.099	
⊕	MM	LOC1 - CYL1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.816	-0.184	-0.084	
Y	10.000	0.100	0.100	10.020	0.020	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.754	-0.246	-0.146	
⊕	MM	LOC2 - CYL2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.664	-0.336	-0.236	
Y	40.000	0.100	0.100	39.427	-0.573	-0.473	
D	15.000	0.100	0.100	14.443	-0.557	-0.457	

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.563	-0.437	-0.337	
Y	10.000	0.100	0.100	9.934	-0.066	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.761	-0.239	-0.139	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.887	-0.113	-0.013	
Y	40.000	0.100	0.100	39.508	-0.492	-0.392	
D	5.000	0.100	0.100	4.524	-0.476	-0.376	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.786	-0.214	-0.114	
Y	10.000	0.100	0.100	9.918	-0.082	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.754	-0.246	-0.146	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.659	-0.341	-0.241	
Y	40.000	0.100	0.100	39.393	-0.607	-0.507	
D	15.000	0.100	0.100	14.443	-0.557	-0.457	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.569	-0.431	-0.331	
Y	10.000	0.100	0.100	9.877	-0.123	-0.023	
D	10.000	0.100	0.100	9.761	-0.239	-0.139	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.881	-0.119	-0.019	
Y	40.000	0.100	0.100	39.504	-0.496	-0.396	
D	5.000	0.100	0.100	4.524	-0.476	-0.376	

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019	12:07
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1	
↔	MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	51.414	1.414	1.314	
↔	MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.960	0.960	0.860	
↔	MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	54.227	4.227	4.127	
↔	MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.467	0.467	0.367	
↔	MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	49.489	-0.511	-0.411	
↔	MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.448	0.448	0.348	
FCFFLAT1	MM	 0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
PLN1	0.000	0.010		0.051	0.051	0.041	
PLN3	0.000	0.010		0.003	0.003	0.000	
PLN2	0.000	0.010		0.070	0.070	0.060	
FCFCYL1	MM	 0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
CYL1	0.000	0.010		0.192	0.192	0.182	
CYL2	0.000	0.010		0.330	0.330	0.320	
CYL3	0.000	0.010		0.165	0.165	0.155	
CYL4	0.000	0.010		0.108	0.108	0.098	
⊕	MM	LOC1 - CYL1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.826	-0.174	-0.074	
Y	10.000	0.100	0.100	10.022	0.022	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.753	-0.247	-0.147	
⊕	MM	LOC2 - CYL2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.667	-0.333	-0.233	
Y	40.000	0.100	0.100	39.436	-0.564	-0.464	
D	15.000	0.100	0.100	14.443	-0.557	-0.457	

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.573	-0.427	-0.327	
Y	10.000	0.100	0.100	9.942	-0.058	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.762	-0.238	-0.138	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.890	-0.110	-0.010	
Y	40.000	0.100	0.100	39.510	-0.490	-0.390	
D	5.000	0.100	0.100	4.524	-0.476	-0.376	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.795	-0.205	-0.105	
Y	10.000	0.100	0.100	9.919	-0.081	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.753	-0.247	-0.147	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.661	-0.339	-0.239	
Y	40.000	0.100	0.100	39.401	-0.599	-0.499	
D	15.000	0.100	0.100	14.443	-0.557	-0.457	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.578	-0.422	-0.322	
Y	10.000	0.100	0.100	9.885	-0.115	-0.015	
D	10.000	0.100	0.100	9.762	-0.238	-0.138	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.883	-0.117	-0.017	
Y	40.000	0.100	0.100	39.505	-0.495	-0.395	
D	5.000	0.100	0.100	4.524	-0.476	-0.376	

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019	09:01
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1	
↔	MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.437	0.437	0.337	
↔	MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	49.933	-0.067	0.000	
↔	MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	53.341	3.341	3.241	
↔	MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.465	0.465	0.365	
↔	MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	49.438	-0.562	-0.462	
↔	MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.463	0.463	0.363	
FCFFLAT1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
PLN1	0.000	0.010		0.046	0.046	0.036	
PLN3	0.000	0.010		0.025	0.025	0.015	
PLN2	0.000	0.010		0.034	0.034	0.024	
FCFCYL1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
CYL1	0.000	0.010		0.149	0.149	0.139	
CYL2	0.000	0.010		0.087	0.087	0.077	
CYL3	0.000	0.010		0.132	0.132	0.122	
CYL4	0.000	0.010		0.151	0.151	0.141	
⊕	MM	LOC1 - CYL1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.835	-0.165	-0.065	
Y	10.000	0.100	0.100	9.850	-0.150	-0.050	
D	15.000	0.100	0.100	15.036	0.036	0.000	
⊕	MM	LOC2 - CYL2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.636	-0.364	-0.264	
Y	40.000	0.100	0.100	39.691	-0.309	-0.209	
D	15.000	0.100	0.100	15.039	0.039	0.000	

#		MM	LOC3 - CYL3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.626	-0.374	-0.274		
Y	10.000	0.100	0.100	9.821	-0.179	-0.079		
D	10.000	0.100	0.100	10.022	0.022	0.000		
#		MM	LOC4 - CYL4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.861	-0.139	-0.039		
Y	40.000	0.100	0.100	39.711	-0.289	-0.189		
D	5.000	0.100	0.100	5.037	0.037	0.000		
#		MM	LOC5 - CIR1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.859	-0.141	-0.041		
Y	10.000	0.100	0.100	9.798	-0.202	-0.102		
D	15.000	0.100	0.100	15.036	0.036	0.000		
#		MM	LOC6 - CIR2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.661	-0.339	-0.239		
Y	40.000	0.100	0.100	39.630	-0.370	-0.270		
D	15.000	0.100	0.100	15.039	0.039	0.000		
#		MM	LOC7 - CIR3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.667	-0.333	-0.233		
Y	10.000	0.100	0.100	9.773	-0.227	-0.127		
D	10.000	0.100	0.100	10.022	0.022	0.000		
#		MM	LOC8 - CIR4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.876	-0.124	-0.024		
Y	40.000	0.100	0.100	39.648	-0.352	-0.252		
D	5.000	0.100	0.100	5.037	0.037	0.000		

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019		09:22		
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.426	0.426	0.326				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	49.932	-0.068	0.000				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	53.341	3.341	3.241				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.465	0.465	0.365				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	49.438	-0.562	-0.462				
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
M	50.000	0.100	0.100	50.463	0.463	0.363				
FCFFLAT1	MM		0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS			
PLN1	0.000	0.010		0.045	0.045	0.035				
PLN3	0.000	0.010		0.023	0.023	0.013				
PLN2	0.000	0.010		0.034	0.034	0.024				
FCFCYL1	MM		0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS			
CYL1	0.000	0.010		0.155	0.155	0.145				
CYL2	0.000	0.010		0.088	0.088	0.078				
CYL3	0.000	0.010		0.130	0.130	0.120				
CYL4	0.000	0.010		0.147	0.147	0.137				
$\oplus$		MM	LOC1 - CYL1							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
X	10.000	0.100	0.100	9.838	-0.162	-0.062				
Y	10.000	0.100	0.100	9.855	-0.145	-0.045				
D	15.000	0.100	0.100	15.039	0.039	0.000				
$\oplus$		MM	LOC2 - CYL2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL				
X	40.000	0.100	0.100	39.639	-0.361	-0.261				
Y	40.000	0.100	0.100	39.694	-0.306	-0.206				
D	15.000	0.100	0.100	15.039	0.039	0.000				

# MM LOC3 - CYL3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.630	-0.370	-0.270	
Y	10.000	0.100	0.100	9.827	-0.173	-0.073	
D	10.000	0.100	0.100	10.023	0.023	0.000	
# MM LOC4 - CYL4							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.864	-0.136	-0.036	
Y	40.000	0.100	0.100	39.715	-0.285	-0.185	
D	5.000	0.100	0.100	5.036	0.036	0.000	
# MM LOC5 - CIR1							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.863	-0.137	-0.037	
Y	10.000	0.100	0.100	9.808	-0.192	-0.092	
D	15.000	0.100	0.100	15.039	0.039	0.000	
# MM LOC6 - CIR2							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.664	-0.336	-0.236	
Y	40.000	0.100	0.100	39.634	-0.366	-0.266	
D	15.000	0.100	0.100	15.039	0.039	0.000	
# MM LOC7 - CIR3							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.670	-0.330	-0.230	
Y	10.000	0.100	0.100	9.777	-0.223	-0.123	
D	10.000	0.100	0.100	10.023	0.023	0.000	
# MM LOC8 - CIR4							
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.878	-0.122	-0.022	
Y	40.000	0.100	0.100	39.654	-0.346	-0.246	
D	5.000	0.100	0.100	5.036	0.036	0.000	

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019	09:30
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1	
↔	MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.425	0.425	0.325	
↔	MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	49.931	-0.069	0.000	
↔	MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	53.340	3.340	3.240	
↔	MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.466	0.466	0.366	
↔	MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	49.438	-0.562	-0.462	
↔	MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.463	0.463	0.363	
FCFFLAT1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
PLN1	0.000	0.010		0.045	0.045	0.035	
PLN3	0.000	0.010		0.023	0.023	0.013	
PLN2	0.000	0.010		0.034	0.034	0.024	
FCFCYL1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
CYL1	0.000	0.010		0.156	0.156	0.146	
CYL2	0.000	0.010		0.088	0.088	0.078	
CYL3	0.000	0.010		0.131	0.131	0.121	
CYL4	0.000	0.010		0.147	0.147	0.137	
⊕	MM	LOC1 - CYL1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.840	-0.160	-0.060	
Y	10.000	0.100	0.100	9.855	-0.145	-0.045	
D	15.000	0.100	0.100	15.040	0.040	0.000	
⊕	MM	LOC2 - CYL2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.642	-0.358	-0.258	
Y	40.000	0.100	0.100	39.693	-0.307	-0.207	
D	15.000	0.100	0.100	15.039	0.039	0.000	

#		MM	LOC3 - CYL3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.632	-0.368	-0.268		
Y	10.000	0.100	0.100	9.824	-0.176	-0.076		
D	10.000	0.100	0.100	10.024	0.024	0.000		
#		MM	LOC4 - CYL4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.866	-0.134	-0.034		
Y	40.000	0.100	0.100	39.715	-0.285	-0.185		
D	5.000	0.100	0.100	5.035	0.035	0.000		
#		MM	LOC5 - CIR1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.865	-0.135	-0.035		
Y	10.000	0.100	0.100	9.808	-0.192	-0.092		
D	15.000	0.100	0.100	15.040	0.040	0.000		
#		MM	LOC6 - CIR2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.667	-0.333	-0.233		
Y	40.000	0.100	0.100	39.632	-0.368	-0.268		
D	15.000	0.100	0.100	15.039	0.039	0.000		
#		MM	LOC7 - CIR3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	40.000	0.100	0.100	39.672	-0.328	-0.228		
Y	10.000	0.100	0.100	9.774	-0.226	-0.126		
D	10.000	0.100	0.100	10.024	0.024	0.000		
#		MM	LOC8 - CIR4					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL		
X	10.000	0.100	0.100	9.881	-0.119	-0.019		
Y	40.000	0.100	0.100	39.653	-0.347	-0.247		
D	5.000	0.100	0.100	5.035	0.035	0.000		

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019		09:38	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.515	0.515	0.415			
↔		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.999	-0.001	0.000			
↔		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	53.470	3.470	3.370			
↔		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.602	0.602	0.502			
↔		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.618	-0.382	-0.282			
↔		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.620	0.620	0.520			
FCFFLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
PLN1	0.000	0.010		0.029	0.029	0.019			
PLN3	0.000	0.010		0.026	0.026	0.016			
PLN2	0.000	0.010		0.018	0.018	0.008			
FCFCYL1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
CYL1	0.000	0.010		0.156	0.156	0.146			
CYL2	0.000	0.010		0.126	0.126	0.116			
CYL3	0.000	0.010		0.120	0.120	0.110			
CYL4	0.000	0.010		0.144	0.144	0.134			
⊕		MM	LOC1 - CYL1						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	10.000	0.100	0.100	9.967	-0.033	0.000			
Y	10.000	0.100	0.100	9.969	-0.031	0.000			
D	15.000	0.100	0.100	14.879	-0.121	-0.021			
⊕		MM	LOC2 - CYL2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	40.000	0.100	0.100	39.690	-0.310	-0.210			
Y	40.000	0.100	0.100	39.699	-0.301	-0.201			
D	15.000	0.100	0.100	14.864	-0.136	-0.036			

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.706	-0.294	-0.194	
Y	10.000	0.100	0.100	9.888	-0.112	-0.012	
D	10.000	0.100	0.100	9.855	-0.145	-0.045	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.950	-0.050	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.779	-0.221	-0.121	
D	5.000	0.100	0.100	4.888	-0.112	-0.012	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.925	-0.075	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	10.045	0.045	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.879	-0.121	-0.021	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.675	-0.325	-0.225	
Y	40.000	0.100	0.100	39.719	-0.281	-0.181	
D	15.000	0.100	0.100	14.864	-0.136	-0.036	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.713	-0.287	-0.187	
Y	10.000	0.100	0.100	9.929	-0.071	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.855	-0.145	-0.045	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.910	-0.090	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.849	-0.151	-0.051	
D	5.000	0.100	0.100	4.888	-0.112	-0.012	

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019	09:45
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1	
↔	MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.522	0.522	0.422	
↔	MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	49.999	-0.001	0.000	
↔	MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	53.475	3.475	3.375	
↔	MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.602	0.602	0.502	
↔	MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	49.618	-0.382	-0.282	
↔	MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.620	0.620	0.520	
FCFFLAT1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
PLN1	0.000	0.010		0.028	0.028	0.018	
PLN3	0.000	0.010		0.026	0.026	0.016	
PLN2	0.000	0.010		0.019	0.019	0.009	
FCFCYL1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
CYL1	0.000	0.010		0.154	0.154	0.144	
CYL2	0.000	0.010		0.125	0.125	0.115	
CYL3	0.000	0.010		0.120	0.120	0.110	
CYL4	0.000	0.010		0.145	0.145	0.135	
⊕	MM	LOC1 - CYL1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.967	-0.033	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	9.972	-0.028	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.877	-0.123	-0.023	
⊕	MM	LOC2 - CYL2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.688	-0.312	-0.212	
Y	40.000	0.100	0.100	39.706	-0.294	-0.194	
D	15.000	0.100	0.100	14.864	-0.136	-0.036	

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.706	-0.294	-0.194	
Y	10.000	0.100	0.100	9.896	-0.104	-0.004	
D	10.000	0.100	0.100	9.855	-0.145	-0.045	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.947	-0.053	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.784	-0.216	-0.116	
D	5.000	0.100	0.100	4.890	-0.110	-0.010	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.925	-0.075	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	10.045	0.045	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.877	-0.123	-0.023	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.672	-0.328	-0.228	
Y	40.000	0.100	0.100	39.726	-0.274	-0.174	
D	15.000	0.100	0.100	14.864	-0.136	-0.036	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.713	-0.287	-0.187	
Y	10.000	0.100	0.100	9.936	-0.064	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.855	-0.145	-0.045	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.907	-0.093	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.854	-0.146	-0.046	
D	5.000	0.100	0.100	4.890	-0.110	-0.010	

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019	09:52
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1	
↔	MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.519	0.519	0.419	
↔	MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.002	0.002	0.000	
↔	MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	53.472	3.472	3.372	
↔	MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.603	0.603	0.503	
↔	MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	49.617	-0.383	-0.283	
↔	MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.619	0.619	0.519	
FCFFLAT1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
PLN1	0.000	0.010		0.031	0.031	0.021	
PLN3	0.000	0.010		0.026	0.026	0.016	
PLN2	0.000	0.010		0.019	0.019	0.009	
FCFCYL1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
CYL1	0.000	0.010		0.156	0.156	0.146	
CYL2	0.000	0.010		0.125	0.125	0.115	
CYL3	0.000	0.010		0.121	0.121	0.111	
CYL4	0.000	0.010		0.145	0.145	0.135	
⊕	MM	LOC1 - CYL1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.964	-0.036	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	9.971	-0.029	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.878	-0.122	-0.022	
⊕	MM	LOC2 - CYL2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.689	-0.311	-0.211	
Y	40.000	0.100	0.100	39.699	-0.301	-0.201	
D	15.000	0.100	0.100	14.864	-0.136	-0.036	

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.702	-0.298	-0.198	
Y	10.000	0.100	0.100	9.888	-0.112	-0.012	
D	10.000	0.100	0.100	9.855	-0.145	-0.045	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.948	-0.052	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.782	-0.218	-0.118	
D	5.000	0.100	0.100	4.889	-0.111	-0.011	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.922	-0.078	0.000	
Y	10.000	0.100	0.100	10.046	0.046	0.000	
D	15.000	0.100	0.100	14.878	-0.122	-0.022	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.674	-0.326	-0.226	
Y	40.000	0.100	0.100	39.719	-0.281	-0.181	
D	15.000	0.100	0.100	14.864	-0.136	-0.036	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.710	-0.290	-0.190	
Y	10.000	0.100	0.100	9.929	-0.071	0.000	
D	10.000	0.100	0.100	9.855	-0.145	-0.045	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.909	-0.091	0.000	
Y	40.000	0.100	0.100	39.852	-0.148	-0.048	
D	5.000	0.100	0.100	4.889	-0.111	-0.011	

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019	09:59
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1	
↔	MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.627	0.627	0.527	
↔	MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.162	0.162	0.062	
↔	MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	53.482	3.482	3.382	
↔	MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.281	0.281	0.181	
↔	MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	49.287	-0.713	-0.613	
↔	MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.100	0.100	50.294	0.294	0.194	
FCFFLAT1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
PLN1	0.000	0.010		0.316	0.316	0.306	
PLN3	0.000	0.010		0.010	0.010	0.000	
PLN2	0.000	0.010		0.049	0.049	0.039	
FCFCYL1	MM	0.01					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
CYL1	0.000	0.010		0.101	0.101	0.091	
CYL2	0.000	0.010		0.198	0.198	0.188	
CYL3	0.000	0.010		0.175	0.175	0.165	
CYL4	0.000	0.010		0.161	0.161	0.151	
⊕	MM	LOC1 - CYL1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.739	-0.261	-0.161	
Y	10.000	0.100	0.100	9.642	-0.358	-0.258	
D	15.000	0.100	0.100	15.177	0.177	0.077	
⊕	MM	LOC2 - CYL2					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.598	-0.402	-0.302	
Y	40.000	0.100	0.100	39.149	-0.851	-0.751	
D	15.000	0.100	0.100	15.113	0.113	0.013	

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.512	-0.488	-0.388	
Y	10.000	0.100	0.100	9.526	-0.474	-0.374	
D	10.000	0.100	0.100	10.221	0.221	0.121	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.814	-0.186	-0.086	
Y	40.000	0.100	0.100	39.316	-0.684	-0.584	
D	5.000	0.100	0.100	5.044	0.044	0.000	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.758	-0.242	-0.142	
Y	10.000	0.100	0.100	9.650	-0.350	-0.250	
D	15.000	0.100	0.100	15.177	0.177	0.077	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.615	-0.385	-0.285	
Y	40.000	0.100	0.100	39.192	-0.808	-0.708	
D	15.000	0.100	0.100	15.113	0.113	0.013	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.561	-0.439	-0.339	
Y	10.000	0.100	0.100	9.465	-0.535	-0.435	
D	10.000	0.100	0.100	10.221	0.221	0.121	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.814	-0.186	-0.086	
Y	40.000	0.100	0.100	39.477	-0.523	-0.423	
D	5.000	0.100	0.100	5.044	0.044	0.000	

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019		10:06	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT5 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.629	0.629	0.529			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT6 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.160	0.160	0.060			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST1 - PNT7 TO PLN3						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	53.486	3.486	3.386			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT2 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.279	0.279	0.179			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT3 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	49.287	-0.713	-0.613			
$\longleftrightarrow$		MM	DIST2 - PNT4 TO PLN2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
M	50.000	0.100	0.100	50.296	0.296	0.196			
FCFFLAT1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
PLN1	0.000	0.010		0.315	0.315	0.305			
PLN3	0.000	0.010		0.010	0.010	0.000			
PLN2	0.000	0.010		0.049	0.049	0.039			
FCFCYL1	MM	0.01							
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS		
CYL1	0.000	0.010		0.100	0.100	0.090			
CYL2	0.000	0.010		0.198	0.198	0.188			
CYL3	0.000	0.010		0.174	0.174	0.164			
CYL4	0.000	0.010		0.162	0.162	0.152			
$\oplus$		MM	LOC1 - CYL1						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	10.000	0.100	0.100	9.741	-0.259	-0.159			
Y	10.000	0.100	0.100	9.642	-0.358	-0.258			
D	15.000	0.100	0.100	15.176	0.176	0.076			
$\oplus$		MM	LOC2 - CYL2						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL			
X	40.000	0.100	0.100	39.593	-0.407	-0.307			
Y	40.000	0.100	0.100	39.155	-0.845	-0.745			
D	15.000	0.100	0.100	15.113	0.113	0.013			

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.515	-0.485	-0.385	
Y	10.000	0.100	0.100	9.532	-0.468	-0.368	
D	10.000	0.100	0.100	10.221	0.221	0.121	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.809	-0.191	-0.091	
Y	40.000	0.100	0.100	39.316	-0.684	-0.584	
D	5.000	0.100	0.100	5.044	0.044	0.000	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.761	-0.239	-0.139	
Y	10.000	0.100	0.100	9.650	-0.350	-0.250	
D	15.000	0.100	0.100	15.176	0.176	0.076	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.611	-0.389	-0.289	
Y	40.000	0.100	0.100	39.197	-0.803	-0.703	
D	15.000	0.100	0.100	15.113	0.113	0.013	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.565	-0.435	-0.335	
Y	10.000	0.100	0.100	9.471	-0.529	-0.429	
D	10.000	0.100	0.100	10.221	0.221	0.121	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.812	-0.188	-0.088	
Y	40.000	0.100	0.100	39.477	-0.523	-0.423	
D	5.000	0.100	0.100	5.044	0.044	0.000	

		PART NAME : provino 1				febbraio 18, 2019		10:13	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1			
↔ MM DIST1 - PNT5 TO PLN3									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 50.630 0.630 0.530									
↔ MM DIST1 - PNT6 TO PLN3									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 50.160 0.160 0.060									
↔ MM DIST1 - PNT7 TO PLN3									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 53.489 3.489 3.389									
↔ MM DIST2 - PNT2 TO PLN2									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 50.278 0.278 0.178									
↔ MM DIST2 - PNT3 TO PLN2									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 49.287 -0.713 -0.613									
↔ MM DIST2 - PNT4 TO PLN2									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
M 50.000 0.100 0.100 50.298 0.298 0.198									
FCFFLAT1 MM  0.01									
Feature NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL BONUS									
PLN1 0.000 0.010 0.315 0.315 0.305									
PLN3 0.000 0.010 0.011 0.011 0.001									
PLN2 0.000 0.010 0.049 0.049 0.039									
FCFCYLY1 MM  0.01									
Feature NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL BONUS									
CYL1 0.000 0.010 0.101 0.101 0.091									
CYL2 0.000 0.010 0.197 0.197 0.187									
CYL3 0.000 0.010 0.174 0.174 0.164									
CYL4 0.000 0.010 0.162 0.162 0.152									
⊕ MM LOC1 - CYL1									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
X 10.000 0.100 0.100 9.742 -0.258 -0.158									
Y 10.000 0.100 0.100 9.648 -0.352 -0.252									
D 15.000 0.100 0.100 15.176 0.176 0.076									
⊕ MM LOC2 - CYL2									
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL									
X 40.000 0.100 0.100 39.590 -0.410 -0.310									
Y 40.000 0.100 0.100 39.164 -0.836 -0.736									
D 15.000 0.100 0.100 15.113 0.113 0.013									

#		MM	LOC3 - CYL3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.515	-0.485	-0.385	
Y	10.000	0.100	0.100	9.542	-0.458	-0.358	
D	10.000	0.100	0.100	10.221	0.221	0.121	
#		MM	LOC4 - CYL4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.807	-0.193	-0.093	
Y	40.000	0.100	0.100	39.322	-0.678	-0.578	
D	5.000	0.100	0.100	5.044	0.044	0.000	
#		MM	LOC5 - CIR1				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.761	-0.239	-0.139	
Y	10.000	0.100	0.100	9.654	-0.346	-0.246	
D	15.000	0.100	0.100	15.176	0.176	0.076	
#		MM	LOC6 - CIR2				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.607	-0.393	-0.293	
Y	40.000	0.100	0.100	39.205	-0.795	-0.695	
D	15.000	0.100	0.100	15.113	0.113	0.013	
#		MM	LOC7 - CIR3				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	40.000	0.100	0.100	39.566	-0.434	-0.334	
Y	10.000	0.100	0.100	9.479	-0.521	-0.421	
D	10.000	0.100	0.100	10.221	0.221	0.121	
#		MM	LOC8 - CIR4				
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
X	10.000	0.100	0.100	9.809	-0.191	-0.091	
Y	40.000	0.100	0.100	39.482	-0.518	-0.418	
D	5.000	0.100	0.100	5.044	0.044	0.000	