

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica



Tesi di Laurea Magistrale

Analisi relativa all'accuratezza dimensionale e ripetibilità della stampante 3D Touch di Bit From Bytes

Relatore

Prof. Paolo Minetola

Candidato

Luca Massimini

Anno Accademico 2018/2019

Indice

Capitolo 1 - Introduzione	3
Capitolo 2 - Stato dell'arte	5
2.1 - L'evoluzione dell'Additive Manufacturing.....	5
2.2 - Vantaggi e svantaggi della tecnologia FDM	7
2.3 - Parametri di processo per la tecnologia FDM	9
2.4 - I materiali per la tecnologia FDM	10
Capitolo 3 - Design	12
3.1 - Scopo della ricerca	12
3.2 - La stampante FDM.....	13
3.3 - Definizione delle geometrie da realizzare	14
3.3.1 - Geometria 1.....	17
3.3.2 - Geometria 2.....	18
3.3.3 - Geometria 3.....	20
3.3.4 - Geometria 4.....	22
3.3.5 - Geometria 5.....	24
Capitolo 4 - Processo di stampa.....	28
4.1 - Preparazione del processo di stampa.....	28
4.2 - Scelta del materiale	30
4.3 - Produzione dei campioni	31
Capitolo 5 - Analisi	37
5.1 - Analisi visiva dei campioni	37
5.1.1 - Finitura estetica delle pareti verticali dei campioni.....	39
5.1.2 - Finitura estetica delle pareti superiori dei campioni.....	41
5.1.3 - Deformazione del basamenti e altri difetti minori.....	42
5.2 - Strumentazione e metodi di misura	44
5.3 - La normativa.....	47
5.4 - Analisi dei risultati	48
5.4.1 - Analisi geometria 1	49
5.4.2 - Analisi geometria 2.....	54

5.4.3 - Analisi geometria 3	59
5.4.4 - Analisi geometria 4	64
5.4.5 - Analisi geometria 5	68
5.5 - Sintesi dei risultati ottenuti	73
Capitolo 6 - Conclusioni	76
Allegati	77
Bibliografia	92

Capitolo 1 - Introduzione

L'Additive Manufacturing è un insieme di tecnologie tra le più innovative nell'ambito della produzione industriale.

Il principio alla base di queste tecnologie di produzione è la possibilità di produrre un oggetto, partendo da un modello digitale generato mediante un software "Computer-Aided Design" (CAD), con l'ausilio di macchine che operano per sovrapposizione di strati di materiale, da qui il nome di fabbricazione additiva (Additive Manufacturing).

Fin dall'inizio, queste tecnologie sono state adottate per la realizzazione di prototipi che consentissero valutazioni concettuali e funzionali nella fase di sviluppo di un prodotto, grazie alla notevole semplificazione del processo produttivo e alla maggior libertà nella scelta delle soluzioni a disposizione dei progettisti. Per tale ragione, questo processo è comunemente noto anche con il termine di prototipazione rapida.

Grazie all'evoluzione degli ultimi anni, l'Additive Manufacturing ha raggiunto un livello tale da consentire la realizzazione di prototipi e componenti finali caratterizzati da geometrie a elevata complessità, sia dal punto di vista funzionale che del design, non realizzabili attraverso i metodi tradizionali.

Tra i notevoli benefici offerti da questo settore è opportuno sottolineare, rispetto al passato, la notevole riduzione dei tempi e dei costi di sviluppo richiesti per passare dall'idea iniziale al prodotto finale. Grazie alle nuove tecniche di progettazione conseguenti allo sviluppo, è anche possibile ottenere prodotti più leggeri, a parità di caratteristiche meccaniche.

Inoltre, queste tecnologie consentono di produrre contemporaneamente parti con differenti geometrie, compattandole in un unico processo di stampa e permettendo di svincolarsi dall'utilizzo di attrezzature finora necessarie (ad esempio, gli stampi). Di conseguenza, esiste ora la possibilità di realizzare produzioni con volumi estremamente ridotti e con un elevato grado di risposta alle richieste customizzate.

Questi aspetti stanno incidendo notevolmente sul processo di produzione che ha risentito di un incremento in efficienza e sostenibilità, grazie anche alla riduzione degli scarti di materiale e dei consumi, con una conseguente ricaduta positiva sui costi e un'apertura verso scenari innovativi.

Da un punto di vista economico, questi vantaggi hanno evidenziato la convenienza dell'Additive Manufacturing nella fabbricazione di componenti "on demand" (è il caso, ad esempio, delle parti di ricambio), consentendo di ridurre le scorte di materiali e di aumentare la reattività alle richieste dei clienti, con conseguente riorganizzazione della supply chain.

Contemporaneamente, i continui sviluppi tecnologici stanno contribuendo ad ampliare in maniera significativa la varietà di materie prime disponibili con caratteristiche meccaniche tali da rendere queste tecnologie fruibili anche per applicazioni produttive vere e proprie, in un numero di settori sempre maggiore.

Per un'azienda che cerca di adattarsi interagendo con rapidità ed efficacia ai cambiamenti del mercato attuale, caratteristiche come flessibilità e agilità giocano un ruolo fondamentale per riuscire a ottimizzare le risorse.

La flessibilità è quindi uno dei requisiti fondamentali di ogni processo produttivo e si traduce con la tempistica, la qualità e i costi dei processi stessi. Un'organizzazione flessibile deve riuscire ad adattarsi non solo ai cambiamenti della domanda ma anche all'ambiente in cui opera.

Capitolo 2 - Stato dell'arte

2.1 L'evoluzione dell'Additive Manufacturing

Il primo riferimento alla tecnologia della stampa 3D è contenuto nel resoconto pubblicato da Hideo Kodama, nel 1981. In seguito a questo primo contributo sono stati compiuti passi importanti.

Il merito dell'invenzione della stampa 3D moderna è attribuito a Charles Hull, il quale depositò nel 1986 un brevetto che certificava l'invenzione della stereolitografia (SLA), il primo metodo conosciuto in grado di stampare oggetti in 3D. La nascita di questa nuova tecnologia inaugurò una nuova era per quanto riguarda le tecniche di lavorazione dei prodotti. Hull fondò la 3D Systems, una delle case produttrici leader nel panorama odierno, e sviluppò il primo modello commerciale di prototipazione rapida. Alla medesima si deve, inoltre, la formulazione del formato di file STL, nel merito del quale entreremo in seguito.

Nel 1988 Scott Crump brevettò la Fused Deposition Modeling (FDM), una tecnica che prevede l'utilizzo di materiale termoplastico fuso per la realizzazione dell'oggetto, depositata strato per strato. Durante l'anno seguente, Crump diede origine ad un'altra delle maggiori compagnie produttrici di stampanti 3D esistenti: Stratasys. Il primo modello basato sulla tecnica FDM fu chiamato 3D Modeler. [1]

Risale, invece, al 1992 il primo sistema Selective Laser Sintering (SLS), sviluppato da Carl Deckard, Joe Beaman and Paul Forderhase (e altri ricercatori). Il principio fondante di questa tecnologia è del tutto simile alla stereolitografia, differendo da quest'ultima per l'utilizzo di polveri (Nylon) in sostituzione della resina.

Nel 1993 giocò un ruolo importante l'MIT, l'Institute of Technology di Boston: in questa sede fu sviluppata una quarta tecnologia di stampa che per la prima volta permise di stampare fino a un massimo di 28 colori. La possibilità di stampare a colori, nonostante fosse più costosa, permise di stampare oggetti molto fedeli alla realtà.

Nel 1995, Z Corporation iniziò a sviluppare macchine basate sulla tecnica di stampa a getto d'inchiostro, riuscendo ad essere la prima società a diffondere nel mercato una stampante a colori ad alta definizione.

Nello stesso anno, i tedeschi del Fraunhofer Institute, svilupparono il metodo del Selective Laser Melting. Per la prima volta, il mondo delle stampanti 3D conobbe la possibilità di produrre oggetti veramente solidi, con una densità che poco aveva da invidiare all'industria tradizionale. Grazie a questo metodo, infatti, era possibile fondere polveri di metallo e ottenere oggetti con altissima densità.

Nel 1997 EOS cedette il suo business sulla stereolitografia alla società 3D Systems, riuscendo a mantenere la sua fama di compagnia europea più importante nel settore del 3D printing.

A marzo dello stesso anno, a distanza di quasi vent'anni dalla pubblicazione di Kodama, i Japanese and Word Technology Evaluation Centers pubblicarono un panel report intitolato "Prototipazione Rapida in Europa e Giappone". All'interno di questo scritto si può trovare un quadro abbastanza preciso riguardo allo sviluppo dell'Additive Manufacturing e alla sua diffusione a livello mondiale.

Il 2002 fu l'anno di introduzione dell'Electron Beam Melting, ovvero fusione a fascio di elettroni, una tecnologia mediante la quale una sorgente di elevata energia, composta da un fascio opportunamente concentrato e accelerato di elettroni, è in grado di colpire un materiale in forma "microgranulometrica" provocandone la fusione completa. Grazie a questo metodo si poterono ottenere oggetti metallici con una densità addirittura più alta del Selective Laser Melting.

Nel 2005, si affacciò sul mercato il primo progetto rilasciato in open-source: il Self Replicating Rapid Prototyper, comunemente noto con il termine RepRap.[2, 3] Lo scopo di questo progetto fu la realizzazione di una stampante a basso costo, in grado di ricreare la maggioranza delle parti di cui è composta. La condivisione della conoscenza iniziò quindi a favorire l'innovazione e, grazie alla capillarità raggiunta dal Web, vennero superate anche le ultime barriere. Fu la svolta che portò la rapida diffusione del 3D Printing, raggiungendo anche il target delle piccole e medie imprese, nonché l'ambito hobbistico.

Nel 2008 Bre Pettis, Adam Mayer e Zach "Hoeken" Smith fondarono la MakerBot Industries e diedero inizio alla loro fiorente attività imprenditoriale. Il risultato a cui giunse la MakerBot fu la creazione della prima stampante acquistabile in scatola di montaggio, ottenendo un successo incredibile.

Dal 2008 ad oggi, il mercato delle stampanti 3D ha visto la realizzazione di un gran numero di varianti e il costante sviluppo dei materiali utilizzabili. Questa diffusione ha certamente permesso l'abbattimento dei costi della strumentazione e dei materiali.

Contemporaneamente, hanno visto la luce numerosi servizi "on demand", in grado di soddisfare le richieste dei progettisti in tempi rapidissimi e molto competitivi.

Infine, riveste particolare importanza segnalare l'ingresso nel settore dell'Additive Manufacturing da parte dell'HP con l'introduzione, nel 2016, della tecnologia Multi Jet Fusion. Questo contributo ha permesso di raggiungere un considerevole aumento della produttività in termini di tempi di produzione, qualità e complessità dei processi, oltre a una significativa riduzione dei costi: di fatto, si tratta di una soluzione pensata per la realizzazione di piccole produzioni in serie.

2.2 Vantaggi e svantaggi della tecnologia FDM

Tra le tecnologie che compongono il settore dell'Additive Manufacturing, l'FDM è senza dubbio quella più accessibile al grande pubblico perché è considerata generalmente economica, e quindi "entry-level", nonostante esistano anche macchine industriali che adottano materiali molto specifici e performanti.

Il principio, come già anticipato, consiste nell'estrusione del materiale termoplastico attraverso un ugello che, portato ad elevata temperatura, rende il materiale fluido e permette di essere depositato. Partendo dal piano di stampa, secondo determinate strategie di traiettorie, vengono realizzati in successione vari strati (layer) di materiale i quali, per sovrapposizione, contribuiscono alla definizione del solido finale.

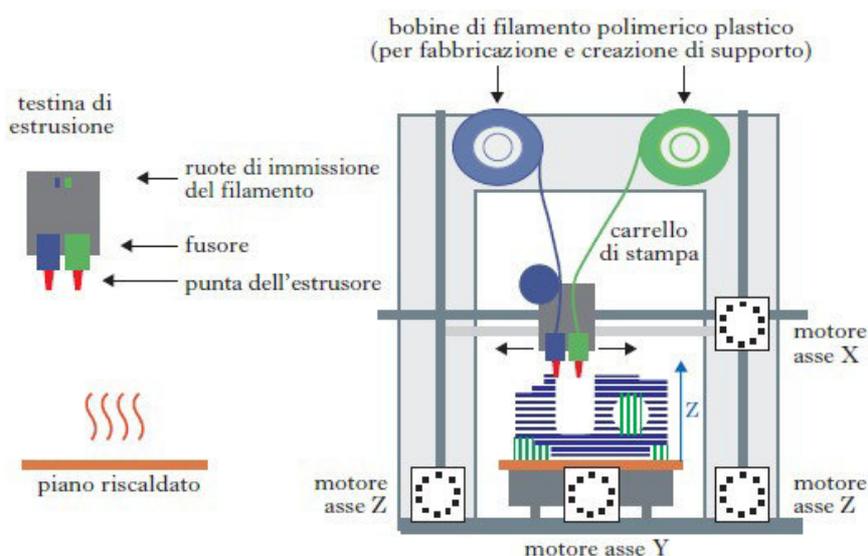


Figura 1 - Schema di processo della tecnologia FDM.

In questo modo, è possibile realizzare oggetti con qualsiasi geometria e tolleranze dimensionali minime rispetto al progetto. [4] Per consentire la creazione di forme particolarmente complesse, grazie all'Additive Manufacturing è possibile prevedere l'ausilio di supporti solubili o removibili, secondo varie soluzioni.

Per completare il quadro descrittivo della tecnologia FDM è opportuno fare riferimento, oltre ai vantaggi già presentati, anche ai limiti che essa porta con sé nonostante la progressiva evoluzione avvenuta nel corso degli ultimi anni.

Per comprendere nel complesso le opportunità offerte da questa tecnologia, è importante considerare che le stampanti FDM attualmente in commercio sono in grado di utilizzare materiali termoplastici in varietà contenute anche se, nel corso degli anni, la ricerca ha contribuito allo sviluppo di soluzioni sempre più specifiche, ognuna delle quali è rivolta verso la fornitura di determinate caratteristiche come, ad esempio, la resistenza meccanica, la flessibilità, la resistenza alle alte temperature, la qualità estetica, ecc.).

Un limite particolarmente evidente risiede nella resistenza meccanica: la creazione mediante deposizione di strati di materiale è un punto di forza ma, allo stesso tempo, anche l'anello debole di questa tecnologia poiché le parti realizzate presentano una tendenza alla frattura lungo le linee di deposizione, quando sono sottoposte a forze di trazione trasversale; nella pratica, questo si traduce con l'impossibilità di creare oggetti in grado di resistere a determinate direzioni di trazione: la resistenza meccanica delle parti prodotte sarà massima lungo le direzioni parallele al piano di stampa, e inferiore lungo quella perpendicolare ad esso. Per questo motivo, è di fondamentale importanza lo studio del corretto posizionamento del pezzo sul piatto di stampa, in funzione anche delle sollecitazioni previste.

Per quanto riguarda il grado di precisione offerto, nonostante questa tecnologia permetta di rappresentare geometrie complesse, esistono dei limiti tecnici che influiscono sulla risoluzione delle parti prodotte.

Il volume di stampa di cui dispongono le macchine, per lavori caratterizzati da dimensioni importanti, può essere limitato e quindi insufficiente a contenere le parti. Anche i tempi di stampa possono essere considerati un limite, in termini relativi: essi dipendono principalmente da alcuni fattori quali le dimensioni dei modelli da realizzare, la velocità di estrusione adottata (ad esempio, la possibilità di rappresentare particolari molto piccoli richiede spesso che la velocità del gruppo estrusore sia ridotta), lo spessore degli strati adottato e il diametro dell'ugello che determina il flusso di materiale.

Infine, la finitura estetica non è sicuramente paragonabile alle tecnologie tradizionali, in quanto le parti prodotte presentano sulla superficie un certo grado di difettosità dovuta principalmente alla presenza dei strati depositati dall'estrusore durante il processo di stampa. Tuttavia, queste imprecisioni possono essere parzialmente o totalmente eliminate affrontando un successivo lavoro di finitura, se necessario.

2.3 Parametri di processo per la tecnologia FDM

La tecnologia FDM è un processo complesso che può presentare una certa difficoltà nella determinazione del set di parametri ottimali per una buona riuscita delle parti prodotte, a causa di un numero importante di regolazioni da svolgere durante la fase di setup e che, in alcuni casi, tendono ad influenzarsi reciprocamente.

Pertanto, la qualità e le proprietà meccaniche delle parti da realizzare sono certamente determinate da una corretta scelta dei parametri di processo. [5] A tal proposito, esiste un crescente numero di studi compiuti con lo scopo di stabilire l'interconnessione tra i parametri e giunti con successo alla definizione di diverse tecniche di ottimizzazione statistica delle condizioni di processo per la prototipazione rapida mediante la tecnologia FDM.

La preparazione del processo di stampa, quindi, richiede che si proceda con la regolazione di tali parametri: in alcuni casi non sono necessarie particolari variazioni da apportare tra una lavorazione e un'altra, in altri casi invece i settaggi sono strettamente collegati alla geometria da realizzare e devono necessariamente essere valutati di volta in volta.

Tra questi ultimi, riportiamo di seguito i principali:

- orientamento del componente sul piano di stampa, rispetto alla terna di assi principali;
- spessore degli strati di materiale depositato;
- tipologia del materiale termoplastico;
- densità di riempimento: maggiore è la percentuale di riempimento, rispetto al volume interno, e maggiore sarà la resistenza del componente, a scapito del tempo e del materiale richiesti;
- struttura del reticolo adottato per il riempimento del componente;
- velocità di estrusione del materiale;
- temperatura di estrusione del materiale;
- eventuale raffreddamento del materiale depositato;

- spessore delle strutture portanti (pareti esterne, superiori, inferiori e appartenenti al reticolo di riempimento): un incremento dello spessore delle pareti comporta un aumento della resistenza del componente, del tempo richiesto per la realizzazione e del materiale necessario;
- strutture di supporto e di adesione del componente al piano di stampa (raft o brim).

Ognuno di questi fattori influenza in modo maggiore o minore il risultato finale della lavorazione. Tuttavia, le ricerche svolte suggeriscono che la qualità della produzione dipenda principalmente solo da alcuni parametri di controllo primari.

2.4 I materiali per la tecnologia FDM

Con il consolidarsi di queste tecnologie, anche lo sviluppo dei materiali ha contribuito notevolmente alla diffusione dell'Additive Manufacturing, ampliando la gamma delle soluzioni a disposizione degli sviluppatori. Per quanto riguarda l'FDM, questo è certamente l'ambito in cui è presente il maggior numero di materiali con diverse caratteristiche tecniche.

Tra i materiali maggiormente diffusi nel settore è possibile annoverare il PLA (Acido Polilattico) che unisce caratteristiche di media durezza e bassa elasticità, l'ABS (Acrilnitrile Butadiene Stirene) caratterizzato un'elevata resistenza all'impatto.

Altre soluzioni diffuse riguardano materiali con caratteristiche molto differenti: il PET, molto leggero e resistente, il Policarbonato, con ottima resistenza alle alte temperature e all'impatto; il Nylon, caratterizzato da un grande allungamento a rottura; il TPU, dotato di grande elasticità; altri materiali realizzati con l'aggiunta di altre sostanze e in grado di portare risultati estetici di grande impatto. [6]

La scelta del materiale da adottare, per la realizzazione di un componente, deve essere definita in fase preliminare, prendendo in considerazione una serie di fattori. In particolare, gli aspetti principali da valutare riguardano la finalità, la geometria e le specifiche del componente, le potenzialità offerte dalla stampante a disposizione e l'eventuale processo di finitura richiesto.

Inoltre, in questo scenario di forte sviluppo per le soluzioni costruttive, è importante segnalare la presenza di produttori in numero sempre maggiore, in grado di offrire

alternative simili all'interno della stessa famiglia di materiali. Pertanto, dopo aver individuato la tipologia di filamento da utilizzare, è possibile scegliere tra brand concorrenti.

Volendo trattare, nel presente studio, l'analisi di una simulazione orientata alla produzione di parti meccaniche, il materiale scelto per lo svolgimento è l'ABS fornito dalla casa produttrice della stampante. Di seguito è riportato un approfondimento delle caratteristiche.

Capitolo 3 - Design

3.1 Scopo della ricerca

Lo svolgimento di questo lavoro di tesi ha riguardato la progettazione e realizzazione di una serie di venticinque campioni suddivisi in piccoli lotti, tali da consentire di operare valutazioni in merito all'accuratezza dimensionale e alla ripetibilità della produzione mediante la stampante presa in esame.

A questo scopo, occorre inizialmente identificare le geometrie che consentano di realizzare l'analisi, tenendo in considerazione i parametri che più di altri possano influenzare sul risultato della produzione.

In questo senso, nel Design Of Experiment (DOE) è stata prevista la definizione di modelli caratterizzati da dimensioni ridotte, in modo tale da poter essere disposti in diverse aree circoscritte sulla piattaforma di costruzione.

Al termine del processo di stampa, l'attività è proseguita con lo svolgimento di una serie di misurazioni su ciascuna replica prodotta, prendendo in considerazione le caratteristiche geometriche principali.

A questa fase è seguita l'analisi statistica dei dati, confrontando le varie grandezze rilevate con le misure corrispondenti previste in fase di progetto e classificando i valori secondo la normativa vigente, in modo tale da consentire la valutazione del grado di accuratezza dimensionale e geometrica delle parti.

L'obiettivo di questo studio, pertanto, è finalizzato all'analisi qualitativa delle prestazioni della macchina in dotazione, al fine di identificarne le potenzialità nell'ambito di un processo riguardante la produzione di lotti con diversa geometria.

In particolare, è stato simulato e valutato quale fosse il comportamento della stampante 3D in condizioni di lavoro generiche, ottenute simulando un impiego variabile dei parametri principali, all'interno degli intervalli di configurazione più comuni e compatibili con reali situazioni costruttive. Pertanto, la combinazione di ogni setup è stata definita tenendo in considerazione alcune delle esigenze che possono presentarsi quali, ad esempio: la riduzione dei tempi di lavoro, la produzione di parti a resistenza superiore, ecc.

Per la valutazione dei risultati relativi all'accuratezza dimensionale, si è fatto riferimento a studi già presenti in letteratura, applicati a geometrie diverse e realizzati mediante l'utilizzo di modelli alternativi di stampanti 3D.

3.2 La stampante FDM: "3D Touch"

La stampante adottata per l'attività di studio è il modello entry-level "3D Touch", prodotta dall'azienda Bit From Bytes e convertita successivamente nella linea "CubeXTM" dall'azienda 3D Systems, rappresentata in Figura 2.

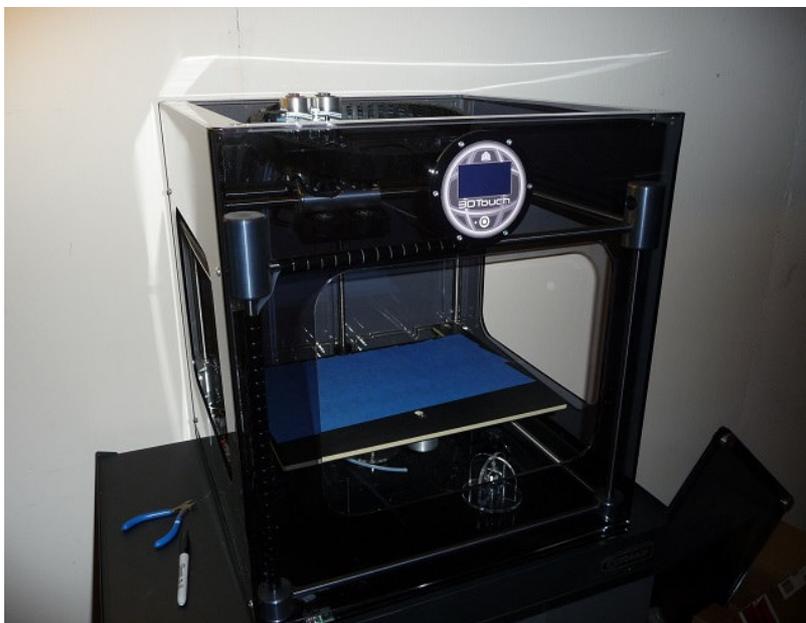


Figura 2 - Stampante BFB 3D Touch.

Si tratta di una macchina dotata di un'architettura a tre assi e provvista di tre estrusori equivalenti (E1, E2, E3), alimentati con filamento da 3 mm di diametro.

Le principali caratteristiche sono riportate di seguito:

- volume di lavoro: 230 x 275 x 210 mm (185 x 265 x 240)
- diametro ugello: 0,5 mm
- spessore strati disponibile: 0,125 mm, 0,25 mm o 0,50 mm
- temperatura di estrusione: 260°C (valore di default)
- velocità di stampa: 16 mm/s (valore di default)

- piano di stampa non riscaldato

Per lo svolgimento di questa attività si è scelto di utilizzare solo uno dei tre estrusori (E1), al fine di evitare che ulteriori variabili potessero influenzare negativamente i risultati. In Figura 3 è raffigurato un momento durante la fase di stampa.

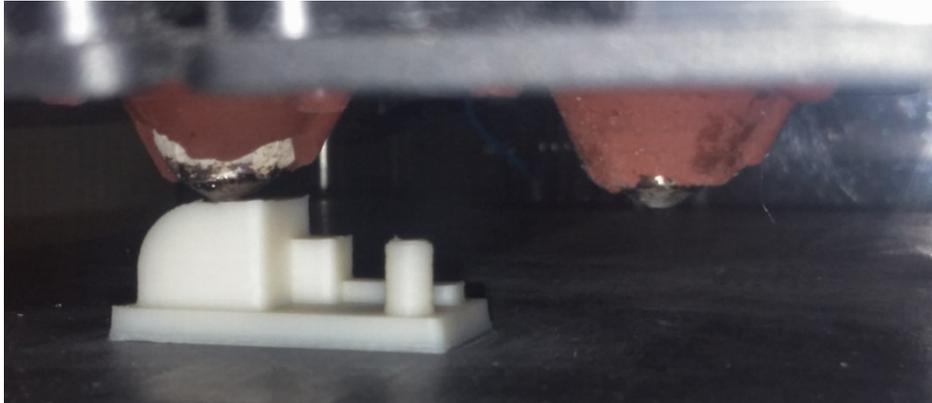


Figura 3 - Particolare degli estrusori in dotazione alla stampante BFB 3D Touch.

Questa macchina è dotata di un sistema che consente il livellamento automatico del piatto di stampa, gestito dal software tramite un sensore.

Il materiale scelto per la produzione dei campioni è l'ABS (Acrilnitrile-Butadiene-Stirene): questo polimero risulta idoneo per le sue proprietà meccaniche alla realizzazione di componenti piccoli e resistenti, nonostante presenti delle criticità durante la fase di raffreddamento.

3.3 Definizione delle geometrie da realizzare

In questo capitolo verrà trattata la progettazione dei vari modelli. Tale fase iniziale è stata svolta tenendo in considerazione alcuni criteri [7, 8, 9], secondo quanto definito da vari autori.

In particolare, durante la definizione delle geometrie che costituiscono i modelli da considerare, sono stati rispettati i seguenti criteri:

- presenza di una varietà di caratteristiche con piccole, medie e grandi dimensioni;
- presenza di caratteristiche assimilabili a quelle presenti su un pezzo reale;

- scelta di forme geometriche semplici;
- quantità contenuta di materiale richiesto;
- ripetibilità delle misure consentita;
- assenza di post-trattamento o intervento manuale (no strutture di supporto);
- tempi rapidi per la realizzazione.

In questa prima fase progettuale, la modellazione tridimensionale dei campioni è stata realizzata utilizzando il software "Fusion 360", un CAD di nuova generazione sviluppato dalla software house Autodesk.

L'intento è stato quello di rappresentare una varietà di geometrie sufficiente a ricoprire un ampio spettro di soluzioni costruttive, utili a caratterizzare le capacità produttive della stampante 3D adottata e la ripetibilità dei risultati ottenibili.

A tale scopo, sono stati definiti cinque diversi modelli, risultanti dalla combinazione di forme geometriche semplici quali parallelepipedi disposti lungo la terna di assi principali, superfici oblique e superfici cilindriche (concave e convesse) con asse di simmetria orientato lungo le direzioni orizzontale e verticale.

Dal punto di vista dimensionale, i modelli in esame presentano ingombri complessivi dell'ordine di qualche centimetro; i vari elementi che costituiscono ogni geometria, a loro volta, sono caratterizzati da dimensioni definite in modo tale da permetterne lo studio secondo la classificazione dei diversi gradi di tolleranza normalizzati (IT), attraverso le singole misure o la loro combinazione.

Durante le fasi iniziali di ogni stampa, è possibile che si manifestino alcune criticità legate all'irregolarità del flusso di materiale depositato, a una calibrazione imperfetta del piano di stampa e alla presenza di segni di usura sul piano di stampa nella zona di costruzione del componente che ne compromettano l'adesione.

Per ovviare a queste problematiche, tra i parametri costruttivi definibili tramite software e trattati più avanti nell'esposizione, è prevista la possibilità di realizzare un substrato, detto "raft": si tratta di una struttura di supporto interposta tra il piano di stampa e il pezzo da realizzare, con lo scopo di ridurre le imperfezioni e livellare l'area sulla quale costruire il pezzo da realizzare. Questa tecnica consente, inoltre, di ridurre il rischio di deformazioni generate dalle tensioni residue presenti nel materiale in fase di raffreddamento, grazie al contributo fornito da una superficie di adesione maggiore rispetto alle dimensioni del pezzo.

Con funzione alternativa a questo accorgimento, durante la progettazione di ogni modello, è stato previsto un basamento che adempisse alla stessa funzione del raft. Volendo replicare le caratteristiche di tale struttura, sono stati adottati i seguenti criteri: dimensioni di base per ciascun lato maggiori di 2 mm, rispetto alle dimensioni dei campioni stessi (lungo le direzioni X e Y), e spessore pari a 3-4 mm.

Per quanto riguarda la scelta delle quote dei modelli lungo l'asse Z, è stato preso in considerazione il livello di precisione caratteristico della stampante in uso: poiché la macchina consente l'adozione di tre diversi spessori di strato, le dimensioni dei modelli sono state ottimizzate in modo tale da coprire uno spettro di soluzioni, comprensivo dei casi in cui siano presenti valori multipli degli spessori disponibili, assecondando quindi le potenzialità della macchina, e di quelli più generali dove tale condizione non sia rispettata.

Un'attenzione particolare è stata rivolta alle zone interessate da fori e cavità di dimensioni ridotte: in questi casi è stato tenuto in considerazione l'ingombro caratteristico della strumentazione prevista per la successiva fase di ispezioni, evitando di realizzare forme che ne impedissero l'accostamento al componente realizzato.

Sempre in questa fase progettuale, è stato necessario definire la posizione assunta dall'origine del sistema di riferimento cartesiano, propria di ciascun modello, al fine di garantire la ripetibilità della misura in ogni ispezione. Tale aspetto può essere considerato ininfluenza ai fini della realizzazione dei campioni ma risulta di fondamentale importanza per la successiva attività di azzeramento dello strumento di misura.

A tale scopo, potendo collocare la terna di assi in modo arbitrario per ciascun modello e dovendo essere calcolato il punto di origine come media aritmetica di tre acquisizioni delle coordinate da parte del tastatore, la posizione è stata scelta individuando un'area sufficientemente ampia e libera da ingombri, in modo da garantire una rilevazione agevole e sufficientemente regolare.

Per quanto riguarda la durata del processo di stampa, essa dipende in generale da diversi fattori: in prima approssimazione, deve essere considerata come strettamente dipendente dalla geometria del pezzo e, in particolare, dalla scelta dello spessore degli strati, della velocità di stampa e della densità di riempimento da adottare.

Di seguito, sono presentate in dettaglio le soluzioni geometriche definite per la realizzazione dei modelli oggetto di studio.

3.3.1 Geometria 1

La progettazione di questo modello è stata impostata dando precedenza allo studio di una forma complessiva sostanzialmente compatta e caratterizzata da geometrie positive.

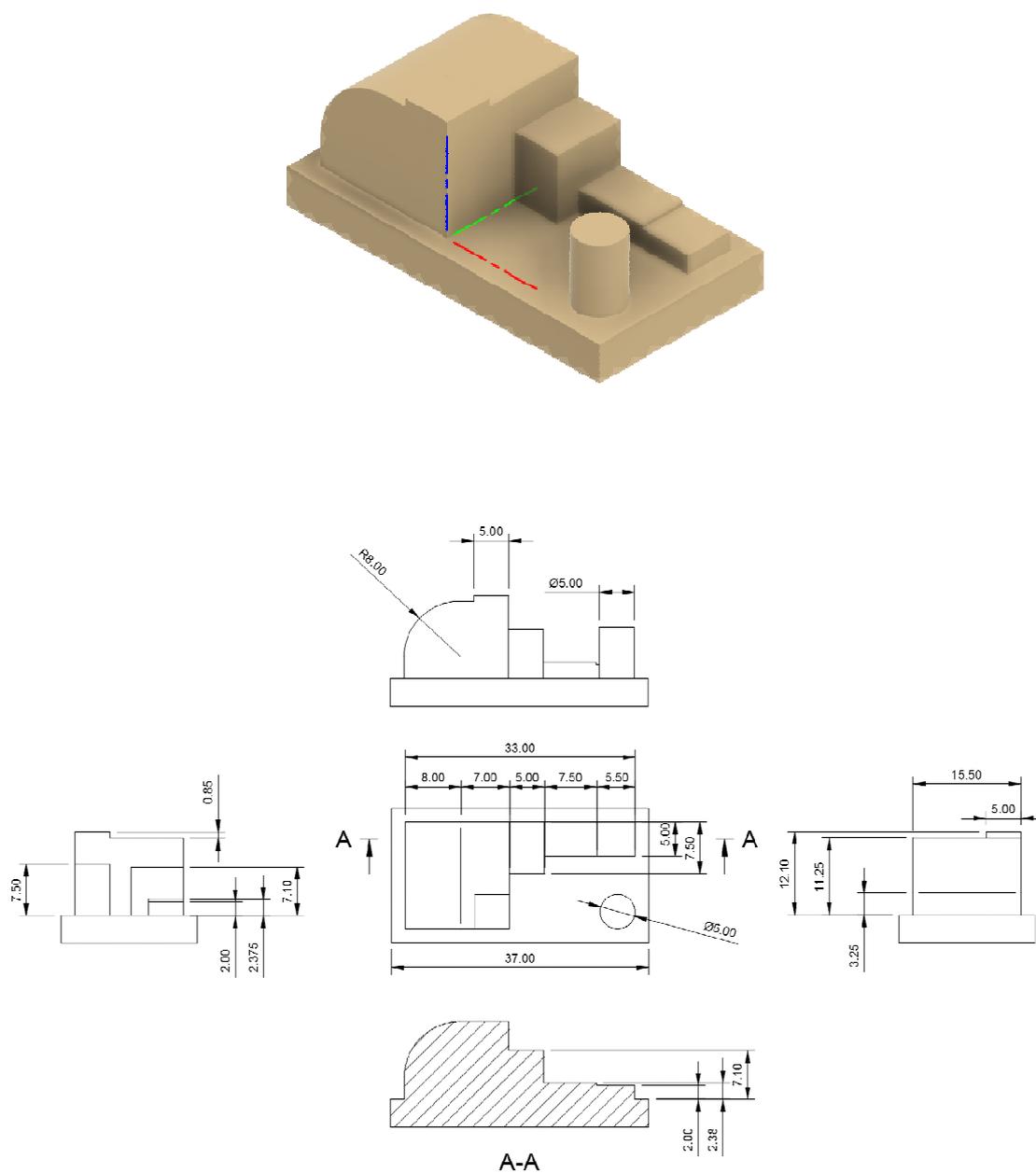


Figura 4 - Definizione delle dimensioni relative alla geometria 1

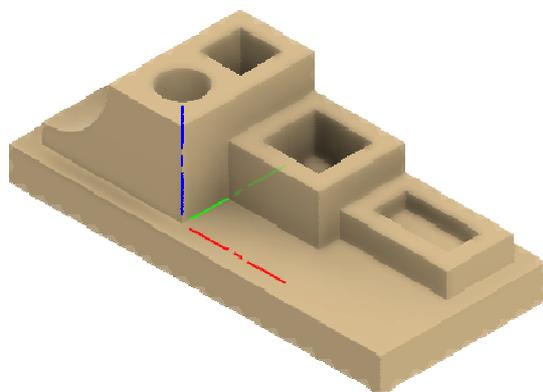
Gli elementi costitutivi sono:

- un blocco principale con base rettangolare di 15,00 mm x 15,50 mm e altezza 11,25 mm, sulla cui sommità è presente uno spigolo raccordato con un raggio pari a 8,00 mm;
- sopra al blocco principale, inoltre, è disposto un parallelepipedo a base quadrata con spigolo di 5,00 mm e altezza di 0,85 mm;
- un insieme di tre blocchi rettangolari, adiacenti e allineati a un fianco del blocco principale, disposti con altezza decrescente da quest'ultimo: il primo ha base 5,00 mm x 7,50 mm e altezza 7,10 mm, il secondo ha base 7,50 mm x 5,00 mm e altezza 2,38 mm, il terzo ha base 5,50 mm x 5,00 mm e altezza 2,00 mm;
- un cilindro con asse verticale posizionato a parte rispetto a tutte le altre geometrie, con diametro pari a 5,00 mm e altezza 7,50 mm.

L'origine del sistema di riferimento è stata definita come punto ottenuto dall'intersezione tra il piano superiore del basamento e lo spigolo del blocco principale, in corrispondenza del parallelepipedo a base quadrata.

3.3.2 Geometria 2

Il secondo modello, raffigurato in Figura 4, è stato pensato come una variante del precedente, per questo motivo è caratterizzato dalle stesse dimensioni di massima. Tuttavia, in questo caso, l'attenzione è ricaduta sull'analisi di geometrie negative, sottratte internamente alle forme principali.



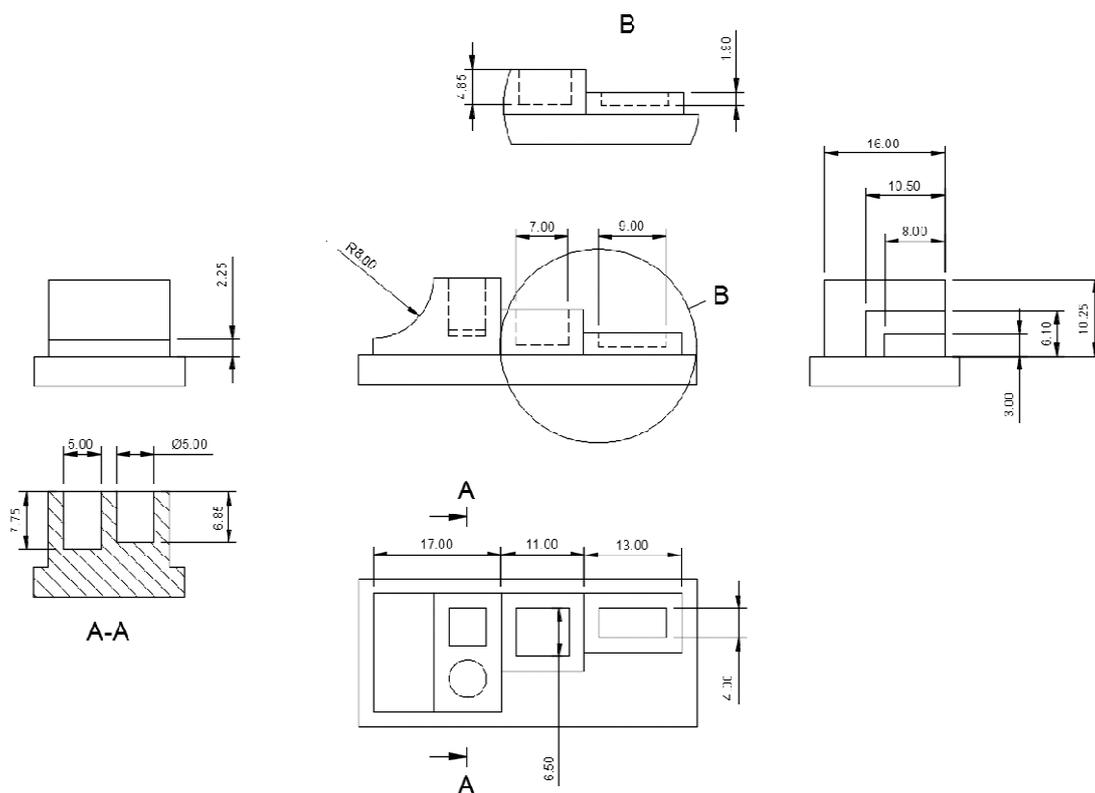


Figura 4 - Definizione delle dimensioni relative alla geometria 2

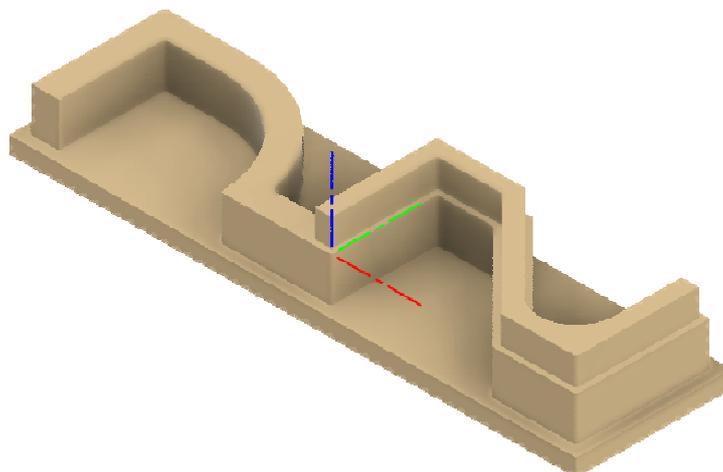
Gli elementi costitutivi sono:

- un blocco principale con base rettangolare di 17,00 mm x 16,00 mm e altezza 10,25 mm, al quale è stata sottratta una porzione di volume equivalente ad un quarto di cilindro avente asse orizzontale e raggio pari a 8,00 mm;
- sulla parete superiore del blocco principale sono presenti due cavità ricavate mediante la sottrazione di un parallelepipedo a base quadrata con spigolo 5,00 mm e profondità pari a 7,75 mm e di un cilindro avente diametro 5,00 mm e profondità 6,85 mm;
- un blocco adiacente e allineato a un fianco del blocco principale, con base di 11,00 mm x 10,50 mm e altezza 6,10 mm, avente sulla parete superiore l'impronta di un parallelepipedo profondo 4,85 mm;
- un terzo blocco simile al precedente, con base di 13,00 mm x 8,00 mm e altezza 3,00 mm, avente sulla parete superiore l'impronta di un parallelepipedo profondo 1,90 mm.

L'origine del sistema di riferimento è stata definita come punto ottenuto dall'intersezione tra il piano superiore del basamento e lo spigolo del blocco principale, dalla parte del foro cilindrico.

3.3.3 Geometria 3

Per quanto riguarda il terzo modello, mostrato di seguito, la scelta progettuale ha riguardato la creazione di pareti relativamente sottili, disposte lungo un percorso senza discontinuità e caratterizzate da cambi di direzione tra volumi con sviluppo lineare e curvo.



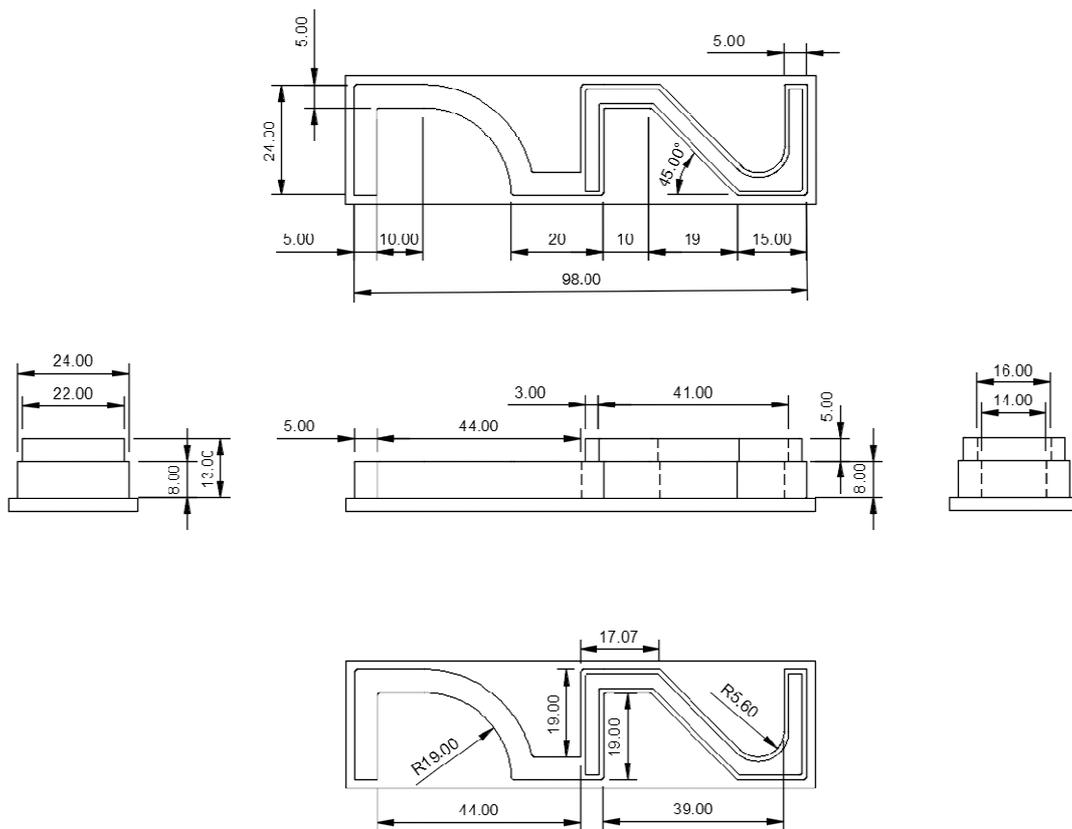


Figura 5 - Definizione delle dimensioni relative alla geometria 3

È possibile schematizzare gli elementi costitutivi della geometria con una serie di tre pareti verticali disposte lungo il lato corto del modello, due delle quali sono disposte alle estremità opposte e una in posizione centrale. Osservando il modello da sinistra verso destra, ciascuna di esse è collegata con la successiva mediante un set di elementi disposti idealmente lungo una linea diagonale.

I due set presentano un andamento simile e sono entrambi costituiti da due brevi tratti longitudinali disposti su lati opposti, collegati da un elemento centrale. Quest'ultimo è rappresentato a sinistra con uno sviluppo circolare, a destra con un tratto lineare.

La precedente descrizione riguarda la vista in pianta del modello complessivo, nel suo livello inferiore che presenta uno spessore delle pareti di 5,00 mm e un'altezza costante pari a 8,00 mm. A completamento del solido, è stato aggiunto un livello superiore riguardante la porzione destra del disegno in pianta, con altezza pari a 5,00 mm. In questo caso, la geometria riprende lo sviluppo della parte sottostante e presenta, in pianta, uno

spessore pari a 3,00 mm, ridotto rispetto al sottostante applicando un offset negativo di 1,00 mm.

Data la presenza di pareti con spessore ridotto e sviluppo articolato, è da segnalare la presenza di alcuni raccordi con raggio pari a 0,50 mm nella porzione centrale del modello, al fine di ridurre il rischio di possibili fratture dei campioni in fase di raffreddamento.

L'origine del sistema di riferimento è stata definita come punto ottenuto dall'intersezione tra lo spigolo esterno individuato dalle pareti centrali del livello inferiore e il piano derivante dalla relativa sommità, in prossimità dell'estremità del livello superiore.

3.3.4 Geometria 4

La progettazione del quinto modello è stata incentrata sullo studio di geometrie esclusivamente circolari, disponendo un set di cinque cilindri sovrapposti e concentrici.



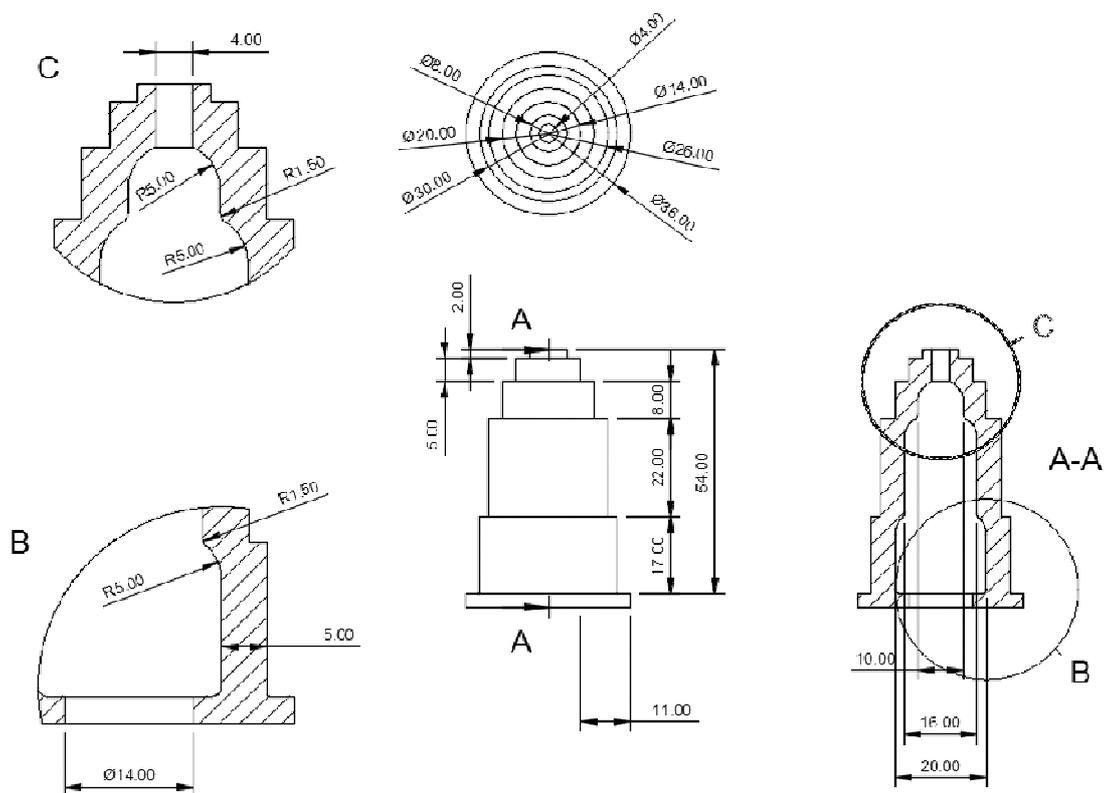


Figura 6 - Definizione delle dimensioni relative alla geometria 4

La sommità del solido presenta un foro del diametro di 4,00 mm e, in modo simile, anche il basamento ha un foro di diametro 14,00 mm.

Il basamento di questo modello sporge rispetto alla geometria di 3mm, a differenza degli altri casi nei quali è stato adottato un margine di 2 mm. La scelta è dovuta alla presenza del foro centrale posto sul fondo del basamento stesso.

L'interno è cavo, con pareti di spessore uniforme pari a 5,00 mm. Questa scelta progettuale comporta delle variazioni di diametro interno e la presenza di angoli sottosquadra. Con questo tipo di geometrie, solitamente, sarebbe (stato) necessario introdurre dei supporti per sostenere gli elementi a sbalzo; tuttavia, per rispettare i criteri descritti all'inizio di questo capitolo, sono stati adottati alcuni minimi di raccordo in corrispondenza di tali zone, per ovviare a possibili criticità.

I cilindri presentano, procedendo dal basso verso l'alto, le seguenti dimensioni:

- diametro 30,00 mm e altezza 17,00 mm;
- diametro 26,00 mm e altezza 22,00 mm;
- diametro 20,00 mm e altezza 8,00 mm;
- diametro 14,00 mm e altezza 5,00 mm;
- diametro 8,00 mm e altezza 2,00 mm;

Diversamente dagli altri modelli, quello appena descritto è un solido assialsimmetrico. In genere, tale condizione risulta funzionale a collocare l'origine del sistema di riferimento lungo l'asse di simmetria. Tuttavia, la presenza della cavità centrale nel solido rende impossibile individuare un punto di contatto fisico, adatto alla rilevazione da parte della sonda dello strumento di misura.

Per ovviare a questa difficoltà, si è proceduto alla definizione di un punto virtuale, rilevando dapprima le dimensioni di due cerchi, in corrispondenza della porzione cilindrica avente diametro 26 mm. Successivamente, la retta perpendicolare alla base e passante per il punto medio calcolato tra i rispettivi centri è stata assunta come asse cartesiano del modello.

L'origine del sistema di riferimento è stata quindi dichiarata lungo tale retta, in corrispondenza della base della porzione cilindrica avente diametro 14 mm.

3.3.5 Geometria 5

Il quarto modello, a sua volta, presenta una parete verticale continua con la sommità segmentata e orientata secondo diversi gradi di inclinazione, adottata per apprezzare i cambiamenti di pendenza. Lungo il suo sviluppo è stato disposto un set di parallelepipedi con dimensioni variabili, separati da spazi vuoti.

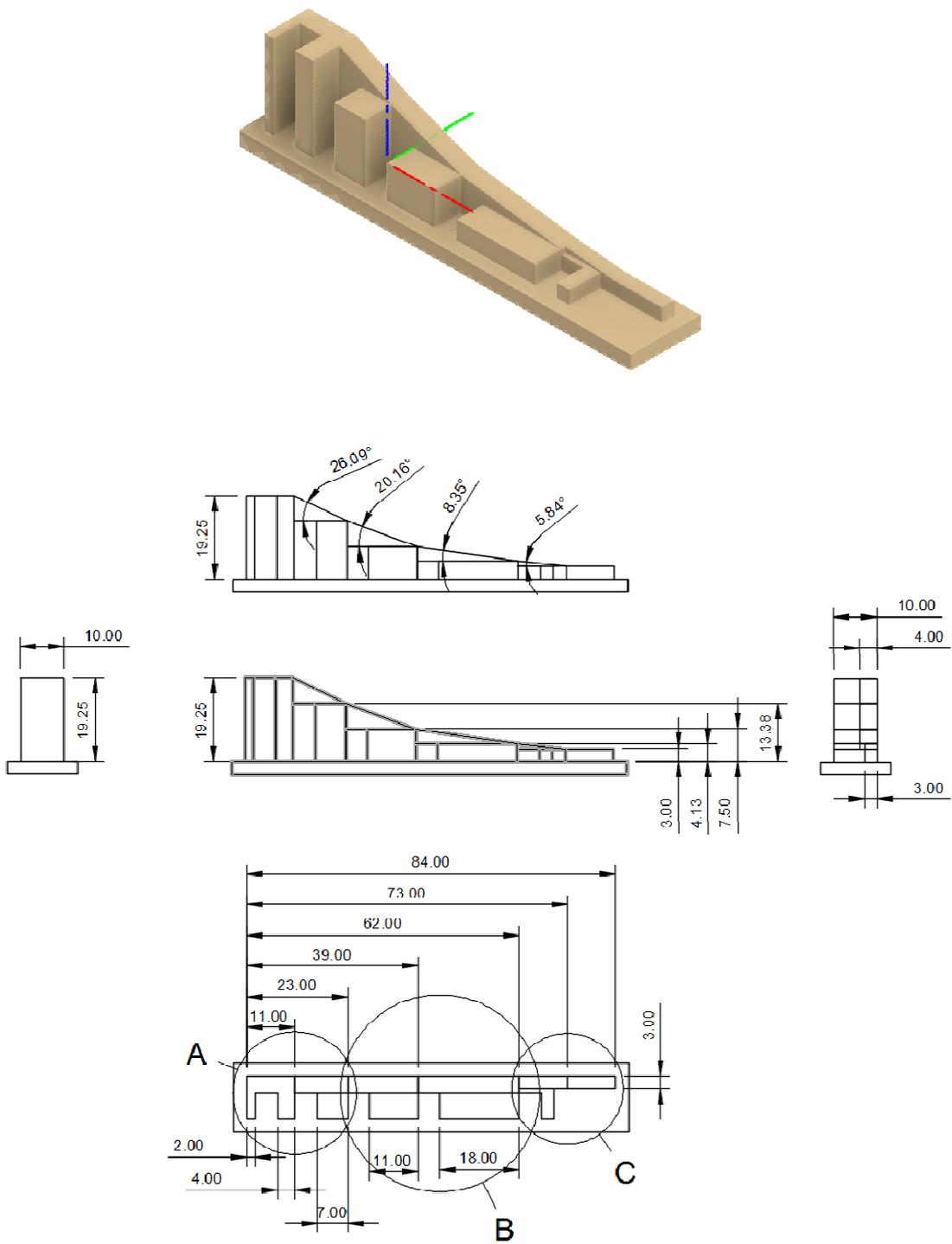


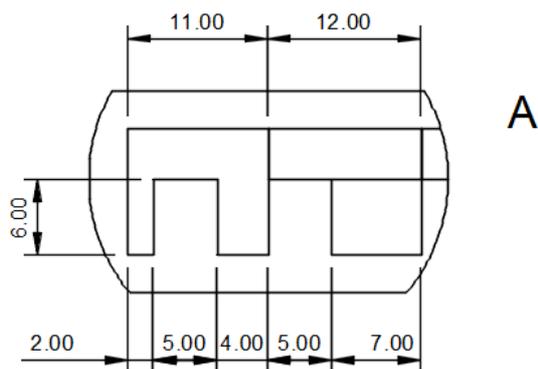
Figura 7 - Definizione delle dimensioni relative alla geometria 5

Come evidenziato in Figura 7, la parte principale della parete presenta uno spessore di 4,00 mm ed è composta da quattro segmenti così ripartiti:

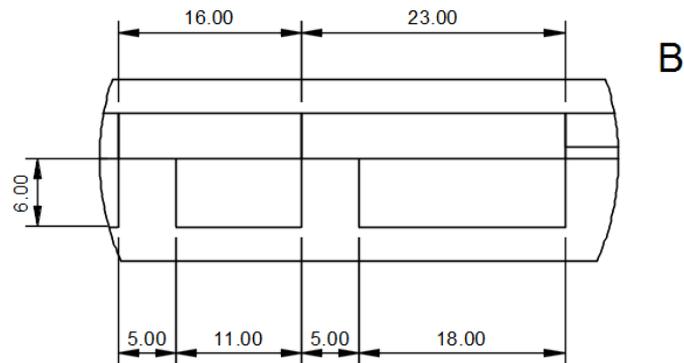
- segmento 1: lunghezza 16,00 mm e altezza 19,25 mm, orizzontale;
- segmento 2: lunghezza della proiezione lungo l'asse X 12,00 mm, inclinazione $26,09^\circ$ tra le quote 19,25 mm e 13,375 mm lungo l'asse Z;
- segmento 3: lunghezza della proiezione lungo l'asse X 16,00 mm, inclinazione $20,16^\circ$ tra le quote 13,375 mm e 7,50 mm lungo l'asse Z;
- segmento 4: lunghezza della proiezione lungo l'asse X 23,00 mm, inclinazione $8,35^\circ$ tra le quote 7,50 mm e 4,125 mm lungo l'asse Z
- e termina con due ulteriori segmenti di spessore 3,00 mm e le seguenti dimensioni:
- segmento 5: lunghezza della proiezione lungo l'asse X pari a 11,00 mm, inclinazione di $5,84^\circ$ tra le quote 4,125 mm e 3,00 mm lungo l'asse Z;
- segmento 6: lunghezza 11,00 mm, orizzontale.

Il set di sei parallelepipedi che sporgono dalla parete sopra descritta, partendo dal più alto, è composto da:

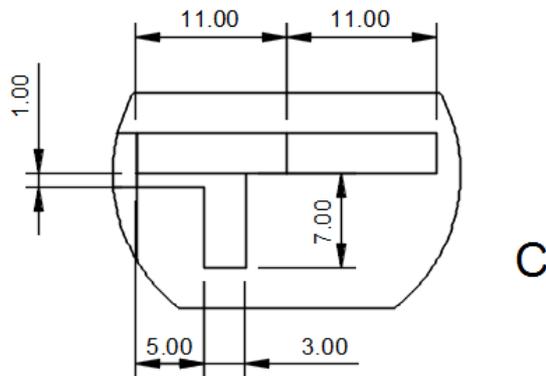
- un blocco con base rettangolare di 2,00 mm x 6,00 mm e altezza 19,25 mm;
- un blocco con base rettangolare di 4,00 mm x 6,00 mm e altezza 19,25 mm;
- un blocco con base rettangolare di 7,00 mm x 6,00 mm e altezza 13,375 mm;



- un blocco con base rettangolare di 11,00 mm x 6,00 mm e altezza 7,50 mm;
- un blocco con base rettangolare di 18,00 mm x 6,00 mm e altezza 4,125 mm;



- un blocco con base a "L", composto da un rettangolo di 5,00 mm x 1,00 mm combinato a uno di 3,00 mm x 6,00 mm, con altezza uniforme pari a 3,00 mm.



L'origine del sistema di riferimento è stata definita come punto ottenuto dall'intersezione tra la sommità del secondo parallelepipedo, in ordine crescente di altezza, e lo spigolo opposto alla parete obliqua, più prossimo alla mezzeria del lato lungo del modello

Riassumendo quanto finora descritto, le geometrie prese in esame consentono di misurare una quantità di grandezze geometriche sufficiente a valutare il grado di precisione della stampante in esame.

Capitolo 4 - Processo di stampa

4.1 Preparazione del processo di stampa

Dopo aver ultimato la fase di progettazione dei modelli, prima di procedere con la produzione dei campioni è necessario impostare i parametri di processo della stampante. Si procede, pertanto, all'esportazione del modello matematico dal CAD in un file idoneo allo scopo: il formato STL (Solid to Layer).

Il formato STL è un tipo di file pensato per la rappresentazione codificata di un solido, mediante la discretizzazione della sua superficie esterna in triangoli. [10] Si tratta di un formato facilmente generabile e processabile dai software, adatto a rappresentare un'approssimazione della geometria originale.

Questo formato, comunemente impiegato nell'Additive Manufacturing, è costituito da una raccolta di vettori contenenti le coordinate dei tre vertici che costituiscono ciascun triangolo e l'orientazione della normale alla corrispondente superficie.

Il grado di approssimazione è importante soprattutto nei casi di superfici non planari poiché una maggiore definizione corrisponderà ad una rappresentazione più accurata del modello.

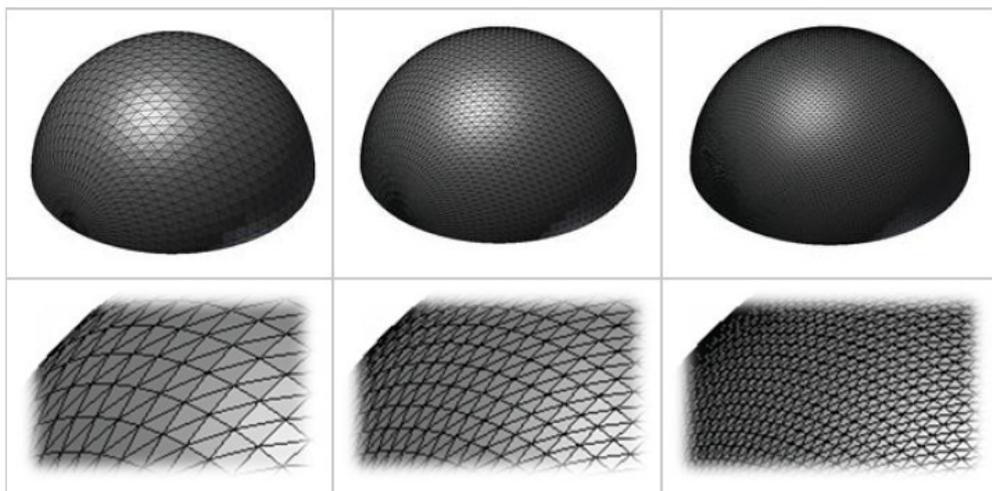


Figura 8 - Esempi relativi al grado di approssimazione della mesh di un modello.

Questa semplificazione, tuttavia, può comportare alcune imprecisioni nella codifica come, ad esempio, la ripetizione dello stesso vertice più volte; si tratta di errori che possono essere evitati o contenuti con un'attenta modellazione della geometria stessa. In generale, comunque, è possibile apportare delle correzioni con software specifici.

Nel caso dei modelli presi in considerazione, i relativi file STL sono costituiti dal numero di triangoli riportati in Tabella 1:

Tabella 1. Quantità dei triangoli di cui ogni mesh è composta e volume dei modelli.

	Modello 1	Modello 2	Modello 3	Modello 4	Modello 5
Triangoli STL	316	330	904	7634	134
Volume [cm ³]	5,87	5,98	16,98	19,60	9,64

Nel processo di trasformazione da modello digitale a oggetto fisico, fondamentale importanza risiede nella fase di "slicing". Quest'operazione può essere eseguita da un software proprietario oppure open-source, detto "slicer", e consiste nella suddivisione del solido in tante sezioni (gli strati, appunto), normali all'asse Z e aventi spessore costante.

Lo slicer è progettato per generare un codice macchina (il "g-code"), all'interno del quale sono presenti tutte le istruzioni necessarie alla stampante per eseguire il processo di stampa: i percorsi per la movimentazione e la velocità del gruppo estrusore, l'avanzamento del filamento, la temperatura di estrusione, la regolazione delle ventole per l'eventuale flusso d'aria di raffreddamento, la gestione dei supporti, il cambio materiale, ecc.

In questa fase, dopo aver importato il file STL generato in precedenza, occorre predisporre il setup migliore per garantire l'ottimizzazione della lavorazione. I parametri riguardano vari aspetti della lavorazione e possono essere in numero variabile, in base al software utilizzato. Più avanti nella trattazione, verranno approfondite le impostazioni adottate per lo studio in esame.

Attraverso il g-code, la stampante è quindi in grado di depositare il filamento fuso su ogni strato, seguendo le coordinate definite in base alla geometria del componente e ai parametri impostati dall'utente, in funzione delle caratteristiche che si vogliono ottenere dal prodotto finale.

```

1 ^Axon version: 2.1.0
2 ^Checksum: YES
3 ^Time: 1234
4 ^Ex1: ABS white
5 ^Ex2: PLA yellow
6 ^Ex3: PLA purple
7 M227 P3200 S3200
8 M105
9 M113 S1.0
10 M108 S300.0
11 #StartPartMaterialA
12 M107
13 M542
14 M104 S260
15 M106
16 M551 P64000 S600
17 M543
18 M107
19 (<nestedRing>)
20 G1 X67.284 Y97.602 Z0.25 F30000.0
21 M101
22 G1 X68.328 Y96.59 Z0.25 F960.0
23 G1 X69.45 Y95.668 Z0.25 F960.0
24 G1 X70.645 Y94.84 Z0.25 F960.0
25 G1 X71.904 Y94.114 Z0.25 F960.0
26 G1 X73.218 Y93.493 Z0.25 F960.0
27 G1 X74.578 Y92.981 Z0.25 F960.0
28 G1 X75.976 Y92.584 Z0.25 F960.0
29 G1 X77.402 Y92.302 Z0.25 F960.0
30 G1 X78.846 Y92.138 Z0.25 F960.0

```

Figura 9 - Esempio della struttura di un g-code.

4.2 Scelta del materiale

L'ABS è un termopolimero ottenuto dalla sintesi di acronitrile, butadiene e stirene in proporzioni che possono variare da un produttore a un altro; nonostante non sia biodegradabile, è molto diffuso nell'ambito dell'Additive Manufacturing e della stampa ad iniezione, poiché presenta diversi vantaggi quali leggerezza e buone caratteristiche meccaniche..

In generale, l'ABS è molto diffuso per la sua resistenza all'impatto, la sua tenacità, flessibilità e lavorabilità. È un materiale dotato di buone proprietà meccaniche, molto deformabile e resistente alle elevate temperature (l'estrusione avviene a circa 240-260°C, mentre la transizione vetrosa si assesta nell'intervallo 90-120°C, in base alla sua composizione chimica).

Essendo un materiale soggetto a distacco dal piano di stampa (fenomeno conosciuto con il termine "warping"), ha bisogno di essere lavorato in camera chiusa, con una temperatura

controllata e il piatto di stampa riscaldato. Per lo stesso motivo, risulta opportuno e talvolta necessario prevedere una struttura di adesione abbastanza estesa.

Pertanto, non si tratta di un materiale semplice da stampare a causa delle importanti tensioni generate dalla fase di raffreddamento, durante la quale possono verificarsi deformazioni del componente, in particolare per oggetti di grandi dimensioni.

In fase di postproduzione, l'ABS risulta facilmente levigabile e trova nell'acetone un solvente che consente di ottenere un'ottima finitura, oltre ad offrire la possibilità di saldare più parti insieme. [11, 12]

Queste caratteristiche, quindi, rendono l'ABS adeguato per realizzare parti di ridotte dimensioni o per creare prodotti resistenti agli urti e all'usura, come caschi antinfortunistici, componenti automobilistici, giocattoli, ecc.

4.3 Produzione dei campioni

In seguito all'esportazione dei file nel formato STL, è stata avviata la fase di produzione dei lotti. I file sono stati importati singolarmente all'interno dello slicer Axon (versione v5.4.2) fornito in dotazione alla stampante e, per ciascun modello, la prima operazione svolta è stata definire la posizione di ogni modello rispetto al piano di stampa, simulato dal software.

Ciascun modello è stato posizionato a contatto con il piano di stampa, secondo l'orientamento adottato all'interno dell'ambiente CAD, in previsione di realizzare singolarmente cinque repliche per ognuno di essi, attraverso la ripetizione dei cicli di stampa e mantenendo costante il posizionamento di ogni campione in una predefinita area del piano di stampa.

Questo accorgimento è stato applicato mediante la suddivisione ideale della piattaforma in cinque settori (uno centrale e gli altri in corrispondenza dei quattro angoli), con l'obiettivo di garantire la costanza nelle prestazioni della stampante ed escludere dai risultati possibili variazioni, imputabili a una collocazione variabile dei campioni durante la lavorazione.

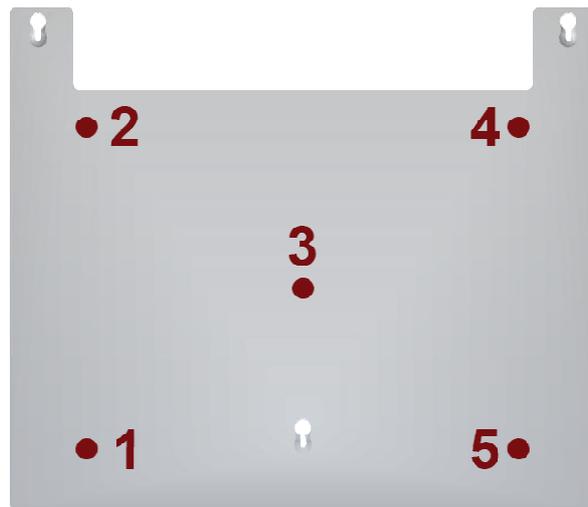


Figura 10 - Posizione dei campioni sul piano di stampa.

In Figura 10, sono identificati i settori della piattaforma numerati secondo l'ordine assegnato ai lotti: i modelli 1 e 5 sono stati posizionati in prossimità del lato anteriore della stampante, i modelli 2 e 4 sono stati lungo il lato posteriore e il modello 3 in corrispondenza del settore centrale.

Nella Tabella 2, invece, sono riportate le coordinate in corrispondenza delle quali sono stati collocati i vari lotti, rispetto allo zero macchina. Quest'ultimo si trova all'intersezione delle diagonali principali del piano di stampa e, come si può osservare, coincide con il punto di riferimento del Modello 3.

Tabella 2. Coordinate scelte per il posizionamento dei campioni sul piano di stampa.

	X [$\pm 0,1$ mm]	Y [$\pm 0,1$ mm]
Geometria 1	-120,0	-80,0
Geometria 2	-140,0	120,0
Geometria 3	0,0	0,0
Geometria 4	80,0	110,0
Geometria 5	51,0	-80,0

Dopo aver definito la posizione, è stato necessario impostare i parametri relativi al setup da adottare per ciascun modello. Nell'immagine seguente è raffigurato il pannello di controllo contenente i parametri messi a disposizione dallo slicer.

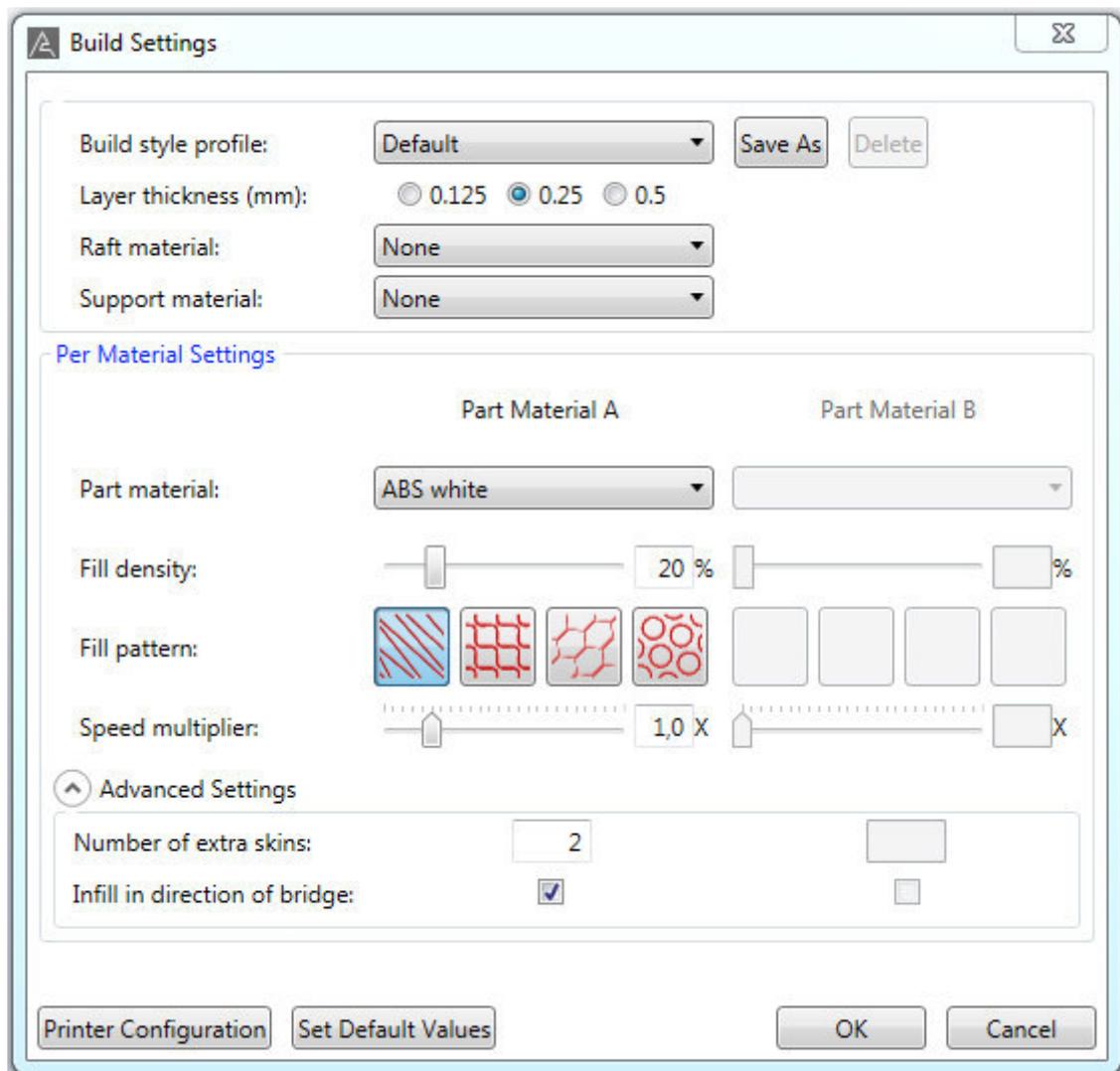


Figura 11 - Finestra per la definizione dei parametri di stampa.

Nella sezione superiore di Figura 11, sono riportate le variabili preliminari per la definizione del setup: esse riguardano lo spessore degli strati con i quali si intende operare e i materiali adottati per la realizzazione delle strutture portanti dei campioni (raft e supporti).

Per il caso in esame, non è stato necessario selezionare alcun valore, avendo già definito in fase di progetto la struttura sulla quale realizzare le repliche, in modo da evitare l'introduzione degli elementi di sostegno.

Per quanto riguarda la scelta dello spessore degli strati, non è stata condizionata dalle dimensioni complessive dei modelli lungo l'asse Z, essendo stati caratterizzati tutti da altezze variabili.

Il valore di 0,50 mm è stato ritenuto inadeguato poiché avrebbe comportato una scarsa finitura delle pareti verticali dei campioni. Per rispettare l'ipotesi riguardante il contenimento delle tempistiche di stampa, la scelta tra i due spessori rimanenti è ricaduta sul valore di 0,250 mm per i modelli 1, 3 e 4; il modello 2 è stato realizzato con una definizione pari a 0,125 mm, in modo da consentire un confronto con quello caratterizzato dalla geometria simile; il modello 5, infine, è stato prodotto con uno spessore di layer pari a 0,125 mm, allo scopo di valutare in fase di analisi la presenza di eventuali risultati significativi, riconducibili all'effetto della definizione di stampa.

Nella sezione inferiore, invece, è possibile impostare una serie di parametri dedicati all'ottimizzazione della struttura interna dei modelli. Come si può vedere in Figura 6, per ogni voce sono presenti due colonne identiche ("Part Material A" e "Part Material B") gestibili in modo differente, nell'eventualità sia richiesto di realizzare stampe multimateriale. Avendo scelto di produrre i campioni con un solo materiale, la colonna di destra non è necessaria ai fini dello studio in questione, pertanto questa risulta inattiva.

Tra quelli presenti, di seguito sono riportati i parametri ritenuti di uso più comune nella preparazione di un generico processo di stampa:

- materiale assegnato: ABS, è stato utilizzato un filamento di colore bianco per i lotti 1-2-3 e di colore nero per i lotti 4-5;
- densità della struttura di riempimento: 80% per i lotti 1 e 2; 60% per i restanti, in quanto caratterizzati da pareti con spessore inferiore;
- pattern della struttura di riempimento: "zig-zag", si tratta della strategia adottata per le traiettorie la realizzazione del riempimento;

Le restanti voci a disposizione, già impostate con i valori di default all'apertura del software, non hanno subito variazioni perché ritenute valide per le lavorazioni da realizzare. Tra queste, è presente il parametro "Speed multiplier" grazie al quale sarebbe possibile gestire la velocità di stampa, sul piano X-Y; tuttavia, si è preferito mantenere il valore di default che corrisponde a 16 mm/s.

Nella tabella seguente, sono riassunti i parametri che sono stati adottati per ciascun modello, corredati dalla quantità di materiale e tempo richiesti per la realizzazione di ogni campione:

Tabella 3 - Riassunto dei parametri adottati e informazioni relative alla produzione.

	Spessore strati [mm]	Riempimento [%]	Struttura Riempimento	Velocità [mm/s]	Raft	Materiale [g]	Durata [hh:mm]
Geometria 1	0,250	80		16	no	5,56	00:42
Geometria 2	0,125	80		16	no	5,64	01:42
Geometria 3	0,250	60		16	no	16,42	01:55
Geometria 4	0,250	60		16	no	17,47	02:09
Geometria 5	0,125	60		16	no	8,51	02:31

Il processo di stampa della ha richiesto in media circa 9 ore per ogni lotto. Si fa presente, inoltre, che questa stima non considera i tempi di attrezzaggio della macchina (controllo della calibrazione del piano di stampa e riscaldamento della stampante) e quelli richiesti per il raffreddamento e l'estrazione dei campioni a lavorazione ultimata.

Al termine della definizione dei parametri, mediante lo slicer è stato generato ed esportato il g-code contenente le istruzioni in linguaggio macchina da trasferire alla stampante per la lavorazione (nel caso specifico, il file viene salvato nel formato ".bfb").

Per quanto riguarda l'intervallo di temperature di lavoro, il valore consigliato dal produttore del filamento è compreso nell'intervallo 230-260°C. In base all'esperienza acquisita in precedenza nell'uso della stampante, la temperatura di estrusione adottata per questa attività è stata di 260°C, pari al valore di default.

A tal proposito, è opportuno segnalare la possibilità che si presentino lavorazioni per le quali è prevista la realizzazione di geometrie comprendenti sulla sommità dettagli di ridotte dimensioni. In questi casi, i ripetuti movimenti dell'estrusore su aree circoscritte abbinati all'elevata temperatura del gruppo estrusore, comportano un surriscaldamento localizzato con una conseguente perdita di definizione. Al fine di prevenire tale problematica, le soluzioni adottabili sono di vario genere: l'utilizzo di un sistema di raffreddamento, la costruzione contemporanea di più elementi al fine di consentire il tempo necessario a una diminuzione della temperatura nella zona critica oppure una riduzione della temperatura di estrusione.

Tra i modelli oggetto di studio, il lotto 4 presenta la criticità descritta, essendo dotato di una superficie ridotta nella parte superiore della geometria. È stato quindi necessario intervenire in modo da limitare la presenza di difetti.

Poiché la stampante non è dotata di un sistema di raffreddamento e intendendo procedere singolarmente con la stampa dei campioni secondo i criteri stabiliti, si è ritenuto più

opportuno estrarre il filamento con una temperatura inferiore. Pertanto, nel corso della fase finale di stampa di tali campioni, per il completamento degli ultimi 10 mm, è stata ridotta la temperatura di estrusione manualmente e con gradualità, fino a 245°C.

Capitolo 5 - Analisi

Al termine della produzione di tutti i lotti, è seguita una fase di controllo per ciascuno dei venticinque campioni realizzati. Per questo motivo, non è stato eseguito alcun intervento di finitura o lucidatura al termine del processo di stampa, mantenendo inalterate le superfici e, quindi, le relative dimensioni ottenute in produzione.

In prima battuta, si è provveduto allo svolgimento di un'ispezione visiva dei pezzi, finalizzata alla valutazione delle condizioni estetiche delle parti e alla rilevazione di eventuali difetti di forma; di seguito, verrà presentato in modo più approfondito lo studio dei risultati derivanti dall'analisi dimensionale svolta sui campioni.

5.1 Analisi visiva dei campioni

La trattazione seguente riguarda un'analisi finalizzata, in prima approssimazione, alla valutazione della bontà del processo di stampa e della criticità di geometrie particolari, individuando eventuali difetti che potrebbero inficiare sul controllo qualità e, di conseguenza, anche sull'analisi dimensionale.

Dalle immagini seguenti, è possibile osservare come il risultato del processo di stampa possa essere considerato soddisfacente, nonostante sia evidente la presenza di difetti che saranno oggetto di descrizione nei paragrafi successivi.

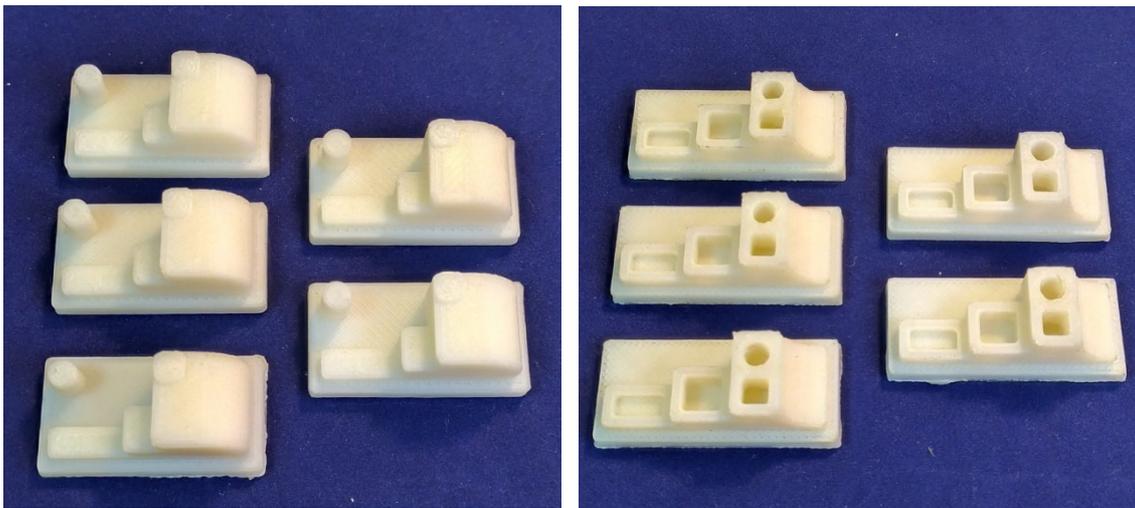


Figura 12 - Risultato della produzione: geometria 1 (a) e geometria 2(b)



Figura 13 - Risultato della produzione: geometria 3

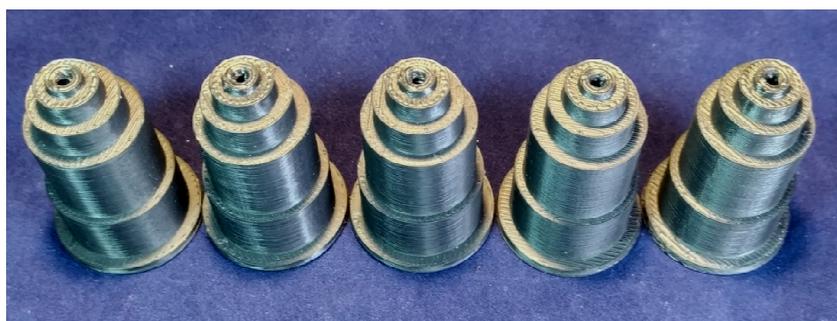


Figura 3 - Risultato della produzione: geometria 4



Figura 4 - Risultato della produzione: geometria 5

5.1.1 Finitura estetica delle pareti verticali dei campioni

Dall'osservazione di tutti i campioni prodotti, la finitura delle superfici disposte perpendicolarmente al piano di stampa, risulta evidente la struttura a strati caratteristica della tecnologia FDM. Si tratta di una caratteristica intrinseca e, per questo motivo, non è evitabile. Nonostante ciò, è possibile migliorare questo aspetto agendo su parametri come lo spessore degli strati, che definisce la risoluzione del processo di stampa, e la temperatura.

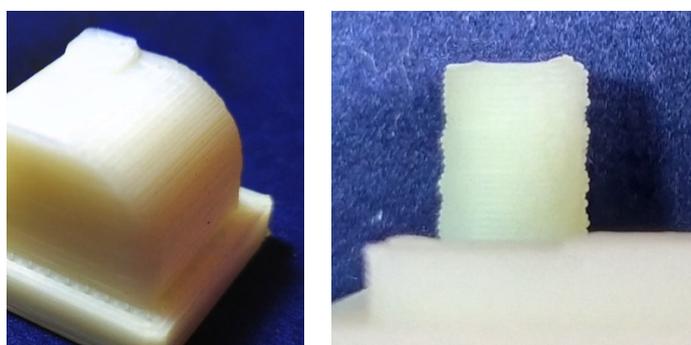


Figura 16 - Particolare della finitura estetica sulle pareti verticali

Le geometrie 1, 3 e 4 presentano questa struttura in modo più marcato, essendo stati prodotti con uno spessore degli strati pari a 0,250 mm. È, inoltre, ipotizzabile che questa perdita di definizione sia attribuibile in parte a una maggiore influenza per quanto riguarda le geometrie caratterizzate da dimensioni inferiori, a causa dei tempi ridotti concessi per il raffreddamento del materiale tra la deposizione di uno strato e il successivo.

Come si può notare in Figura 17, per via della circolarità che caratterizza la geometria 4, oltre a quanto già descritto, sono anche evidenti i punti di attacco in corrispondenza dei quali ha inizio l'estrusione di ciascuno dei strati, evidenziato dall'immagine seguente. Questo difetto è attribuibile allo slicer, il quale ha definito in maniera autonoma la strategia delle traiettorie seguite dall'estrusore.



Figura 17 - Particolare dei difetti dovuti ai punti di attacco dell'estrusione

Volgendo l'attenzione alle pareti contenute all'interno delle cavità presenti sulle geometrie 2 e 4, si riscontrano alcuni difetti caratterizzati da sbavature o sporgenze di materiale depositato con scarsa precisione, con evidenza variabile. In Figura 18 è riportato un esempio di come tali imperfezioni modifichino l'aspetto delle geometrie affette.



Figura 18 - Particolare dei difetti presenti nelle cavità

È possibile ipotizzare che la causa di questi difetti siano da attribuire maggiormente a una deposizione del materiale avvenuta attraverso movimenti effettuati con ampiezza ridotta da parte dell'estrusore o dall'eccessiva temperatura raggiunta localmente poiché risultano situati in aree con superficie ridotta.

5.1.2 Finitura estetica delle pareti superiori dei campioni

Con il termine "parete superiore" si definiscono tutte le superfici perpendicolari all'asse Z che delimitano superiormente gli elementi geometrici di cui è composto un solido.

Nell'ambito della tecnologia FDM, è comune rilevare su questo genere di superfici alcuni difetti riconducibili ai segni lasciati dal passaggio dell'estrusore, durante il suo percorso lungo le traiettorie predefinite, come evidenziato dalle immagini seguenti.

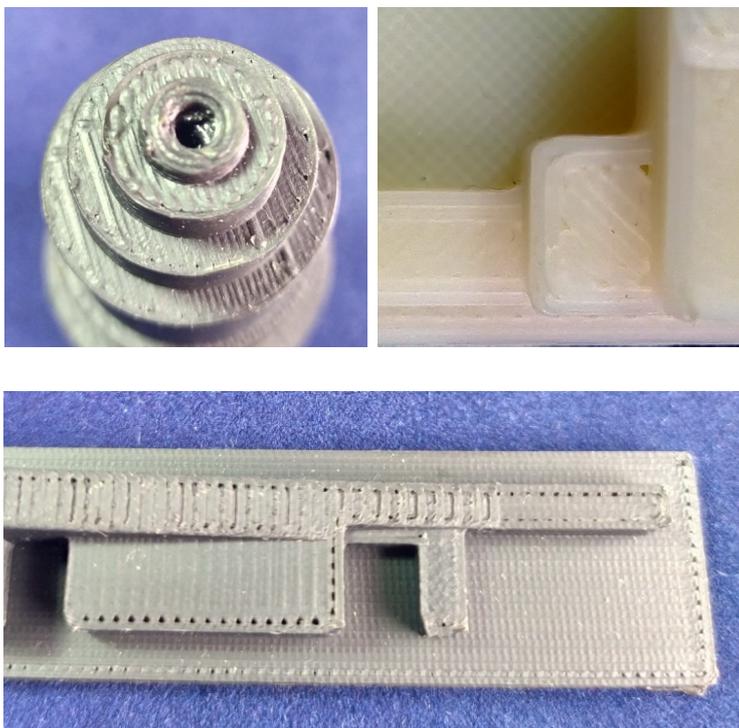


Figura 19 - Particolare della finitura estetica sulle pareti superiori

Adottando una temperatura particolarmente elevata, in base anche ad altri fattori, è possibile rilevare come questi segni siano maggiormente in rilievo, causando una conseguente perdita di definizione.

A proposito della Figura 19, è possibile notare come le traiettorie seguite dall'estrusore internamente alle superfici siano allineate con la terna di assi principali caratteristica del modello 5, mentre in tutti gli altri casi i percorsi presentano una direzione ruotata di 45°. Questo aspetto è dovuto al fatto che, il corrispondente lotto, è stato posizionato in macchina allineato con i movimenti compiuti dalla macchina.

Infine, i piccoli interstizi dovuti a un'imperfetta chiusura delle superfici sono imperfezioni di minore entità che non inficiano sull'accuratezza dimensionale dei campioni, bensì solo sulla qualità estetica.

5.1.3 Deformazione del basamento e altri difetti minori

La struttura adottata come basamento per tutti i modelli presenta generalmente una buona regolarità, in grado di conferire stabilità alle strutture realizzate. Le aree interessate da questi difetti sono visibili in corrispondenza degli spigoli inferiori della geometria. In alcuni casi, tuttavia, è possibile osservare una deformazione più marcata: è il caso dei campioni appartenenti al lotto 3 e 5, i quali presentano in modo particolarmente evidente una curvatura del profilo lungo la direzione x definita per il modello.

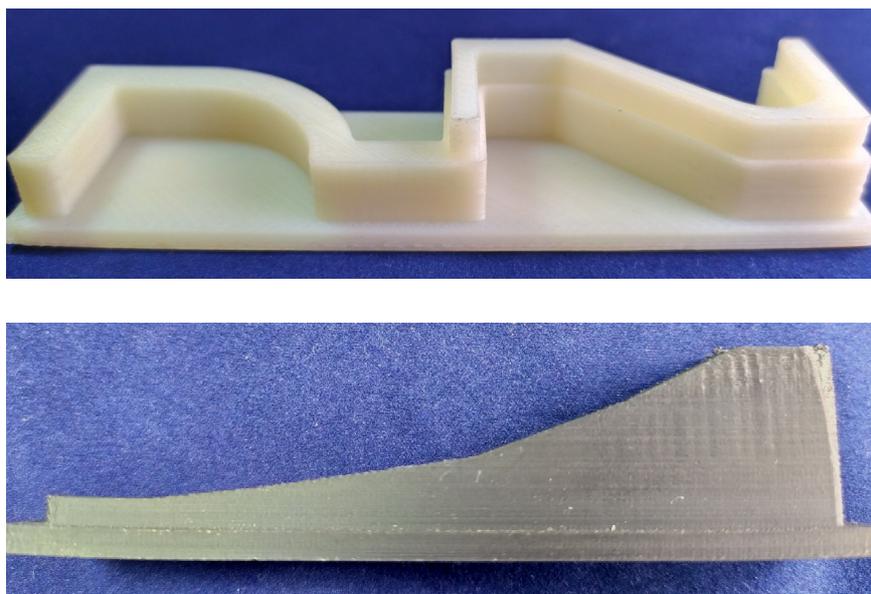


Figura 20 - Deformazione del basamento: geometria 3(a) e geometria 5(b)

Il fenomeno raffigurato nelle immagini precedenti è da attribuire alle tensioni residue liberate all'interno della struttura, avvenuto durante il periodo intercorso tra il processo di stampa e l'attività di misura poiché durante la fase di raffreddamento non era visibile. Purtroppo, si tratta di un aspetto negativo di non semplice soluzione, sicuramente evitabile con l'adozione di un materiale con criticità minore.

Osservando i campioni caratterizzati dalla presenza di spigoli vivi o dettagli di ridotte dimensioni, risulta evidente come essi presentino un profilo arrotondato. Si faccia riferimento alla Figura 19b, vista in precedenza, dalla quale si nota come il risultato sia accettabile. Questa caratteristica può essere riconducibile a vari aspetti, tra i quali le dimensioni del foro di uscita del filamento che per questa macchina misura 0,5 mm.

Un difetto che, invece, potrebbe impedire il superamento di un eventuale controllo di qualità è quanto raffigurato nell'immagine seguente, appartenente alla geometria 5. In questo caso, gli elementi di cui è costituita presentano importanti difetti di forma in prossimità della parete superiore (Figura 15 e Figura 21). Poiché il materiale impedisce il passaggio della sonda nella zona adibita alla misura, sono state scartate alcune delle valutazioni previste per questo lotto.

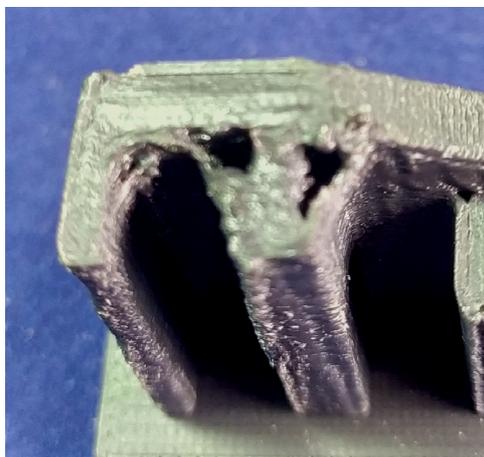


Figura 21 - Particolare dei difetti di forma evidenti nel lotto 5

5.2 Strumentazione e metodi di misura

Per la fase riguardante l'analisi dimensionale dei campioni, ci si è avvalsi dell'ausilio di una macchina di misura a coordinate (CMM), modello DEA GLOBAL Image 07.07.07 per misure punto a punto, gestita attraverso al software fornito in dotazione. Questo dispositivo per il controllo dimensionale è equipaggiato con una testa oscillante e una sonda, con ingombro pari a 2 mm e risoluzione di 1 μ m; la lunghezza volumetrica dichiarata misura l'incertezza MPE_E di $1,5 + L/333 \mu\text{m}$, in conformità alla norma ISO-10360/2 [13], dove MPE è l'acronimo di Maximum Permissible Error e L è la lunghezza misurata.

Va inoltre osservato che la configurazione della sonda CMM, con l'asse ortogonale al piano di base dei campioni, è sufficiente per compiere facilmente le ispezioni, poiché lo spazio previsto tra gli elementi geometrici adiacenti è sufficiente per l'avvicinamento e la retrazione della sonda.



Figura 5 - Macchina di misura a coordinate, DEA GLOBAL Image 07.07.07.

Nell'ambito dell'Additive Manufacturing, le tolleranze di processo ed eventuali successive operazioni di finitura comportano inevitabilmente un'alterazione della geometria del componente reale rispetto al modello virtuale di origine. Tuttavia, i requisiti di tolleranza per questa tecnologia non sono restrittivi come nel caso delle tecniche tradizionali.

Un aspetto che non può essere trascurato, nelle misurazioni effettuate con una CMM, riguarda la finitura superficiale delle parti prodotte con tecnologie additive. Trattandosi di oggetti realizzati con apporto di materiale per strati, sulle superfici laterali è sempre visibile la stratificazione del materiale e, quindi, è possibile notare un "effetto layer" anche nei casi realizzati con una definizione superiore.

In particolare, la finitura superficiale influenza i risultati delle misurazioni in quanto, durante l'avvicinamento del tastatore al campione in analisi, la punta della sonda può venire a contatto con uno degli strati adiacenti, causando un errore di misura. La causa di questa imprecisione può essere riconducibile a diversi fattori, tra i quali: lo spessore degli stessi strati (e quindi la definizione adottata), la direzione di avvicinamento della sonda, la velocità della sonda in avvicinamento.

Per ridurre al minimo l'incidenza di questo errore durante l'attività di misura, ogni pezzo è stato fissato saldamente con un dispositivo a morsa, in modo da impedire il movimento del pezzo. Durante la programmazione del percorso utensile, la velocità di avvicinamento della sonda è stata impostata a un valore relativamente basso, in modo da limitare il più possibile la deformazione potenziale della plastica dovuta al contatto della sonda con il campione. Inoltre, la direzione di avvicinamento adottata è quella normale alla superficie, in corrispondenza del punto da rilevare.

Pertanto, nel corso delle operazioni di messa in macchina del campione sottoposto a misura, l'allineamento ricopre un ruolo chiave e di estrema importanza. La definizione del sistema di riferimento in corrispondenza del pezzo deve essere definito tramite il software in modo coerente con il modello progettato, in modo tale che le grandezze geometriche siano quotate rispetto al punto di origine. Pertanto, qualsiasi errore commesso durante le operazioni di posizionamento potrebbe comportare una misurazione errata, inficiando i risultati attesi.

Lo svolgimento dell'attività di misura, per ogni lotto, è stato preceduto dalla dichiarazione delle grandezze da misurare e delle traiettorie previste per la movimentazione della sonda, sulla base delle geometrie di riferimento.

Inoltre, per ogni campione del lotto sono stati previsti tre cicli di ispezioni, ciascuna delle quali preceduta dalla definizione del relativo sistema di riferimento, con l'intento di ridurre

il rischio di ottenere misure falsate dal contatto con le superfici in un punto diverso da quello previsto.

Nello specifico, lo zero pezzo inerente alla prima ispezione è stato ottenuto calcolando il valore medio delle coordinate di tre punti rilevati arbitrariamente in un'area prestabilita sul campione. I riferimenti delle due successive ispezioni sono stati ottenuti, invece, applicando una traslazione lungo ciascuno degli assi della prima terna di riferimento, secondo le relazioni riportate di seguito:

- ispezione 1: $X = X_{rif}$; $Y = Y_{rif}$; $Z = Z_{rif}$
- ispezione 2: $X = X_{rif} + 0,085$ mm; $Y = Y_{rif} - 0,085$ mm; $Z = Z_{rif} + 0,155$ mm
- ispezione 3: $X = X_{rif} - 0,085$ mm; $Y = Y_{rif} + 0,085$ mm; $Z = Z_{rif} - 0,155$ mm

Pertanto, la definizione dello zero pezzo è necessaria solo nel momento in cui avviene il collocamento in macchina di un nuovo campione da analizzare; per la ripetizione delle misure sul medesimo è sufficiente prevedere i valori di offset all'interno del codice, dai quali i dati sono stati depurati in fase di analisi.

Per quanto riguarda la nomenclatura adottata durante la fase di analisi dei dati, si segnala che la codifica con la quale si è fatto riferimento ai campioni prodotti e alle ispezioni eseguite su ciascuno di essi, è

Ciascuna ispezione, è stata catalogata utilizzando la codifica " x_Ry ", dove x indica la geometria in esame (1..5) e y fa riferimento alla singola ispezione (1..3).

Per l'attività di misura e la successiva analisi dimensionale, sono state prese in considerazione le dimensioni riguardanti la posizione e la distanza reciproca di ciascuna caratteristica geometrica prevista nei modelli, come riassunto dalla Tabella 4.

Tabella 4. Grandezze geometriche misurate.

PIANI	PUNTI	CILINDRI	CERCHI
posizione	posizione	posizione	posizione
distanza tra piani	distanza tra punti		

Le misurazioni svolte su ciascuno dei campioni ispezionati hanno richiesto in media circa quindici minuti cadauna.

5.3 La normativa

Secondo la metodologia descritta da Minetola et al.[14], sono state effettuate tre repliche della misurazione per l'ispezione di ciascun campione e nell'analisi dei risultati sono stati presi in considerazione i valori medi delle tre misurazioni.

I risultati delle misurazioni relative alle caratteristiche geometriche dei campioni sono utilizzati per valutare la precisione dimensionale delle macchina, in termini di gradi IT secondo la normativa ISO 286-1:1988 [15]. I gradi IT consentono di confrontare l'accuratezza geometrica dei diversi processi di fabbricazione, come indicato anche da altri studi [16-20]. I valori delle tolleranze standard corrispondenti alle classi IT 5 - IT 18, per le dimensioni nominali fino a 500 mm, sono valutati mediante il fattore di tolleranza standard i che è espresso in micrometri con la seguente formula:

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D \quad (1)$$

dove D è la media geometrica dell'intervallo delle dimensioni nominali, espresse in millimetri (Tabella 5):

$$D = \sqrt{D_1 \cdot D_2}$$

Tabella 5. Intervalli delle dimensioni ISO e il corrispondente fattore di tolleranza i

Intervallo	Dimensioni nominali (fondamentali)								
Inferiore	D_1 (mm)	1	3	6	10	18	30	50	80
Superiore e compreso	D_2 (mm)	3	6	10	18	30	50	80	120
Fattore standard di tolleranza	i (μm)	0,542	0,733	0,898	1,083	1,307	1,561	1,856	2,173

Il numero di unità di tolleranza n_j per la generica dimensione D_{jn} , che può rappresentare la dimensione di una caratteristica geometrica o la distanza tra le caratteristiche sulla singola replica, può essere calcolato con l'equazione (2) e attribuito all'intervallo di dimensioni base ISO corrispondenti alla dimensione nominale D_{jn} :

$$n_j = \frac{1000|D_{jn} - D_{jm}|}{i} \quad (2)$$

dove D_{jm} è il corrispondente valore misurato della j -esima dimensione generica.

Il risultato di tale rapporto indica il numero n di volte in cui il fattore di tolleranza i rientra nella deviazione dimensionale della caratteristica geometrica specifica. La Tabella 6 mostra la classificazione della qualità dimensionale utilizzando i gradi IT ISO che dipendono dal valore n .

Tabella 6 - Classificazione dei gradi IT secondo ISO 286-1:1988[rif]

Intervallo		Gradi di tolleranza standard													
Inf.	Sup.	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16	IT 17	IT 18
1 mm	500 mm	7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i	1600i	2500i

Entro ogni intervallo delle dimensioni base ISO, a seconda del numero di dimensioni di replica che rientrano nell'intervallo, si ottiene una certa distribuzione del numero di unità n_j . Il valore n corrispondente al 95° percentile di tale distribuzione è assunto come il massimo errore dimensionale del sistema di fabbricazione additiva per definire un grado IT unico per ogni intervallo di dimensioni base ISO.

Il grado IT è, pertanto, rappresentativo della precisione dimensionale del processo di produzione additiva per uno specifico intervallo di dimensione caratteristica.

5.4 Analisi dei risultati

La trattazione che seguirà comprende l'analisi dei risultati dimensionali ottenuti con le ispezioni svolte sui campioni prodotti. Trattandosi di geometrie semplificate e caratterizzate da dimensioni limitate, in base ai modelli, vi è un numero limitato di misure contenute in alcune classi delle dimensioni ISO.

Nel corso della prima parte riguardante la trattazione di ciascun lotto, saranno riassunte le principali grandezze geometriche risultate critiche e, pertanto, escluse dal limite di soglia definito dal 95° percentile delle misure raccolte. Tali osservazioni traggono origine dall'interpretazione dei dati raccolti e ordinati secondo ciascuno degli intervalli dimensionali.

È possibile consultare i tabulati in Allegato al presente elaborato, all'interno dei quali sono evidenziati con il colore blu i valori non considerati all'interno dei grafici. Ciascuna tabella contiene i valori appartenenti a un intervallo dimensionale per tutti i campioni presenti in un lotto, ossia raccoglie le singole terne corrispondenti al range di riferimento di ciascun grafico.

5.4.1 Analisi geometria 1

Il primo dei lotti presi in considerazione corrisponde a una geometria di ridotte dimensioni pertanto, come evidenziato in Tabella 7, le 77 misurazioni svolte coprono gli intervalli dimensionali fino al range "30-50". Tuttavia, i due intervalli superiori contengono un'unica misura ciascuno.

Tabella 7 - Distribuzione delle misurazioni valide per la caratterizzazione del lotto 1.

Range [mm]	1 - 3	3 - 6	6 - 10	10 - 18	18 - 30	30 - 50	50 - 80	80 - 120	TOT
Valori	25	14	11	25	1	1	0	0	77

Con riferimento ai valori evidenziati con in blu all'interno delle tabelle nell'Allegato 1, è possibile notare come all'interno dei range "1-3" e "6-10" ricorrano per tutte le ispezioni le misure corrispondenti alla grandezza che definisce la posizione della superficie verticale sottostante al cilindro con asse orizzontale (PLN10) e alcune tra le grandezze che caratterizzano le dimensioni dei poligoni principali (ad esempio, MEDIA PNT 6-7-8 vs PLN8, 2-3-4 vs PLN15), lungo la direzione definita dall'asse di riferimento y. Per quanto riguarda il range "3-6", sono escluse le misure riguardanti la posizione dell'asse di simmetria riferito alla porzione di cilindro disposto orizzontalmente (CYL2) e, all'interno del range "10-18", quelle riguardanti il diametro del medesimo (MEDIA CIR 4-5-6-7-8).

Prendendo in considerazione Figura 22, è possibile osservare come le ispezioni eseguite sul campione 1 risultano distribuite in modo regolare ad indicare come, per ogni terna di ispezioni, il 95% dei valori misurati non faccia riferimento a particolari geometrie critiche.

La classificazione del campione, secondo la normativa, si assesta tra i gradi IT11 e IT14, presentando una tendenza al miglioramento progredendo con l'aumento degli intervalli dimensionali.

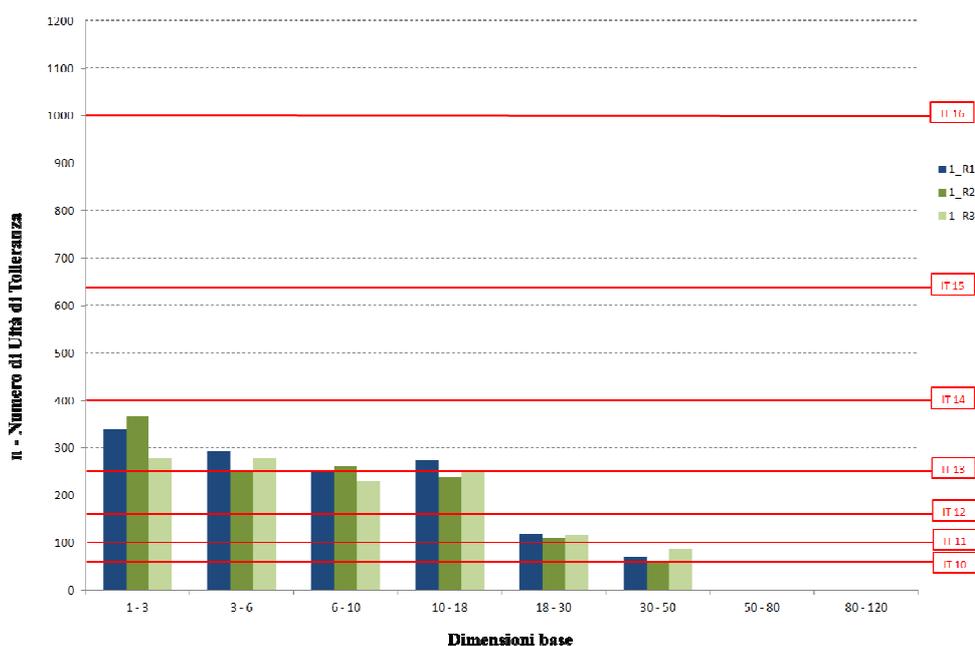


Figura 22 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul modello 1, campione 1

Prendendo in considerazione la Figura 23, è possibile notare la presenza di irregolarità in corrispondenza degli intervalli ISO "3-6" e "10-18". In particolare per il secondo caso, dal controllo delle corrispondenti repliche risulta evidente come le misure escluse dal limite del 95% abbiano comunque influito sulla definizione della classe IT. Le grandezze considerate, infatti, presentano valori di n singolarmente molto inferiori, raggiungendo al massimo valori prossimi a 280; dal grafico si notano, invece, valori ben superiori e riferibili alla posizione del cilindro avente asse orizzontale, nonché al diametro corrispondente, e alcune grandezze misurate lungo l'asse y .

Al netto di questa osservazione, la tendenza raffigurata per il campione 2 può essere valutata come per il caso precedente.

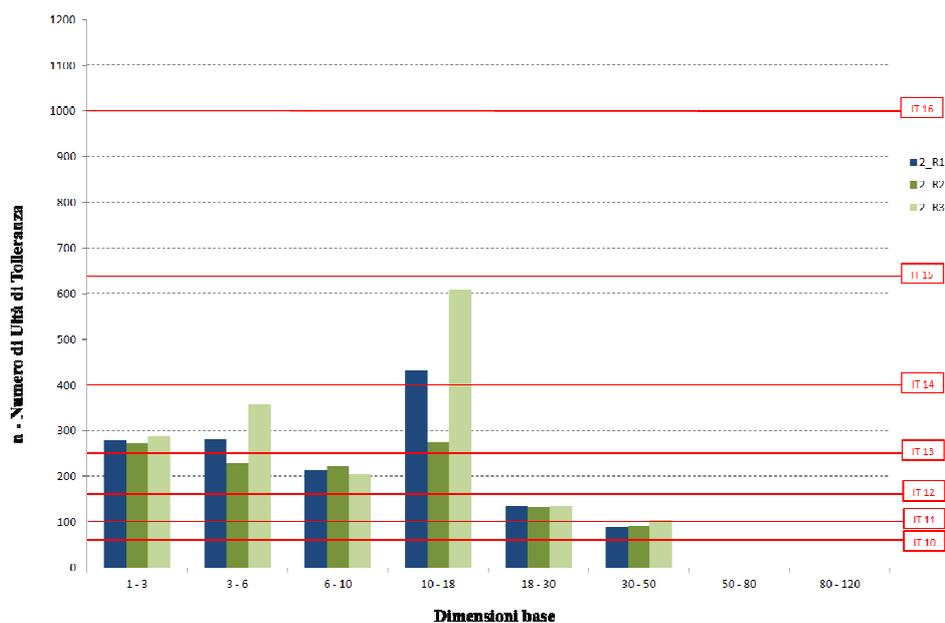


Figura 63 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 1: campione 2

In modo simile al precedente, anche il campione 3 presenta una classificazione per l'intervallo "10-18" che non rispecchia realmente la distribuzione dei valori considerati. Essa è riconducibile, nuovamente, a misurazioni rilevate lungo la direzione y del campione.

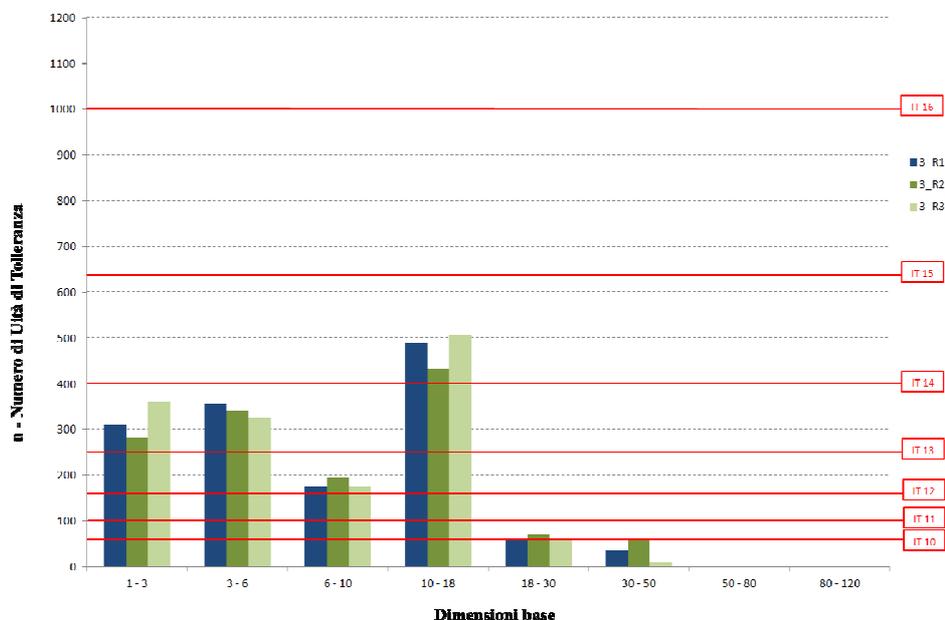


Figura 24 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 1: campione 3

Il grafico riportato in Figura 25 e riferito al campione 4, mette in evidenza come la regolarità di ciascuna terna e i valori raggiunti per la classificazione siano indici, rispettivamente, di una distribuzione regolare dei dati e di un'accuratezza dimensionale paragonabile al campione 1: gli intervalli dimensionali, infatti, sono contenuti tra il grado IT11 e IT14.

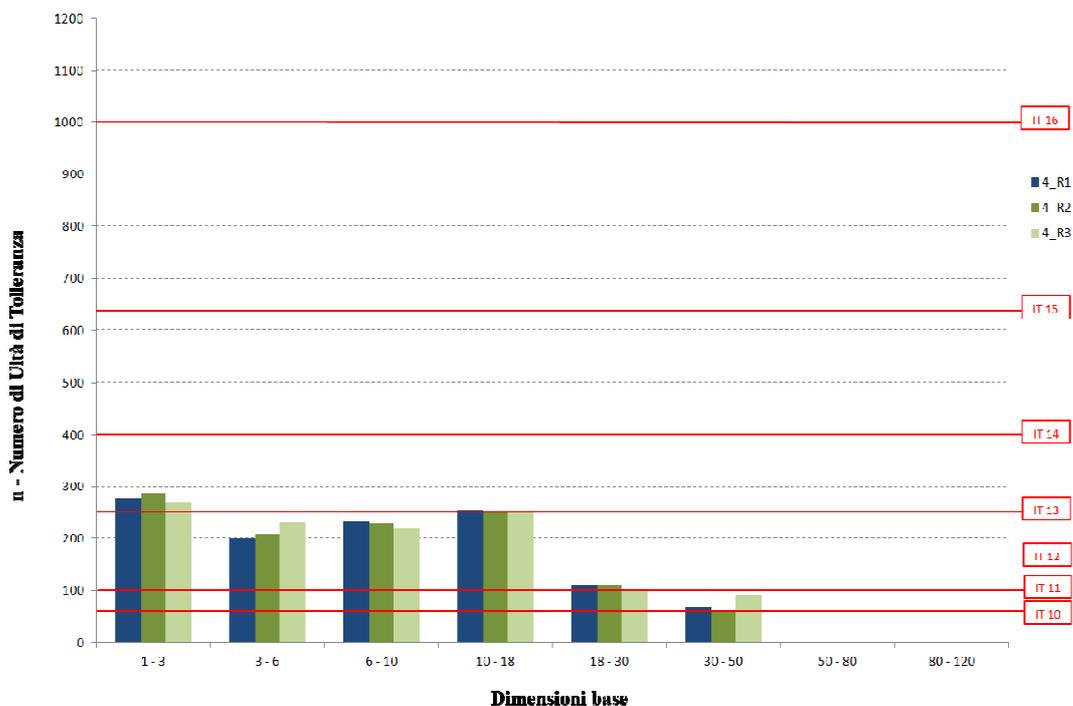


Figura 25- Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 1: campione 4

Infine, anche per il grafico riportato in Figura 26, si possono svolgere considerazioni simili alle precedenti: considerando che le irregolarità dei range "3-6" e "10-18" sono da attribuire all'influenza di alcune misure rilevate lungo l'asse y del campione e il diametro della porzione cilindrica, è confermato il trend già visto nei casi precedenti.

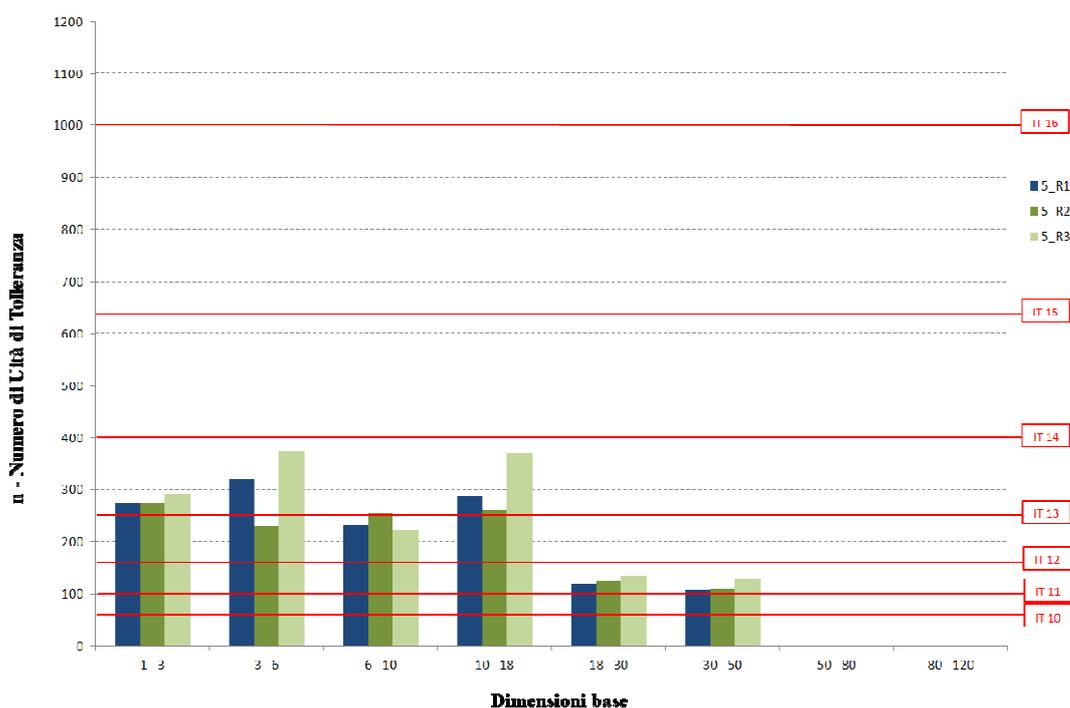


Figura 26 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 1: campione 5

Volendo sintetizzare quanto osservato per il lotto 1, dal grafico riassuntivo di Figura 27 è possibile osservare come la produzione di questa geometria sia stata caratterizzata da una certa regolarità, ad esclusione delle criticità riconducibili allo sviluppo dei poligoni lungo la direzione y e alle dimensioni caratteristiche del cilindro disposto orizzontalmente. Pertanto, le geometrie critiche considerate sono della stessa tipologia di quelle escluse dalla distribuzione.

Risulta evidente come l'accuratezza dimensionale della geometria segua un andamento mediamente compreso tra i gradi IT10 e IT14, seguendo un graduale miglioramento al crescere delle dimensioni geometriche. Inoltre, il gradino che caratterizza i due intervalli di dimensioni ISO comprese tra 18 mm e 50 mm potrebbe essere conseguente al numero limitato di dati raccolti.

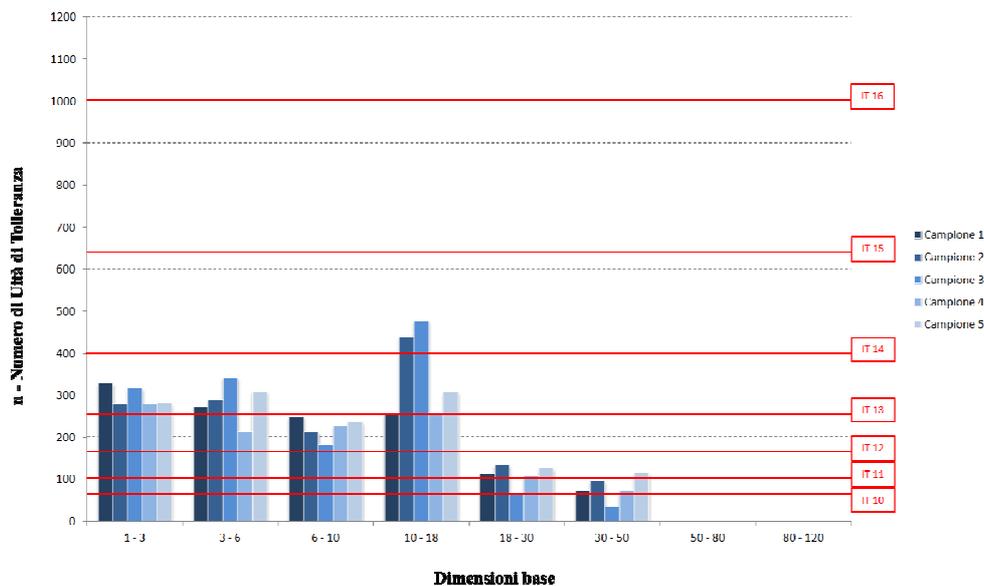


Figura 27 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte su tutti i campioni del lotto 1

5.4.2 Analisi geometria 2

Il lotto di produzione corrispondente al modello 2 presenta dimensioni dello stesso ordine di grandezza del precedente, quindi le misure raccolte sono ripartite lungo gli stessi intervalli ISO trattati nel caso precedente. Tuttavia, le misurazioni svolte per questo caso sono 160, con una maggior significatività per l'intervallo "1-3" in particolare.

Tabella 8 - Distribuzione delle misurazioni valide per la caratterizzazione del lotto 2

Range [mm]	1 - 3	3 - 6	6 - 10	10 - 18	18 - 30	30 - 50	50 - 80	80 - 120	TOT
Valori	75	20	26	32	5	2	0	0	160

Dall'analisi dei dati raccolti per il lotto in esame, è possibile individuare le grandezze escluse dalla classificazione raffigurata nei grafici seguenti, osservando i valori delle tabelle contenute nell'Allegato 2, evidenziati in blu. Prendendo in considerazione l'intervallo di misura inferiore, i valori oltre il limite di soglia del 95% sono distribuiti con discreta omogeneità, fatta eccezione di quelli corrispondenti all'asse di simmetria

caratteristico della cavità cilindrica (CYL2, MEDIA CIR 1-2-3), che risultano esclusi dalla maggior parte delle distribuzioni. In particolare, all'interno dell'intervallo "3-6", non è considerata la maggior parte dei valori riferiti al diametro della stessa cavità cilindrica (CYL2, MEDIA CIR 1-2-3) mentre, per l'intervallo "6-10" le grandezze non considerate nella maggior parte dei casi sono quelle riguardanti le pareti verticali delle cavità a base quadrata (MEDIA PNT 6-10-14 vs PLN10, MEDIA PNT 7-11-15, MEDIA PNT 7-11-15 vs PLN12). Per quanto riguarda il range "10-18", le principali misure non considerate all'interno del 95° percentile corrispondono alla dimensione del diametro che caratterizza la superficie cilindrica ad asse orizzontale (CYL1, MEDIA CIR 4-5-6-7). Dall'intervallo "18-30", infine, sono state escluse alcune tra le distanze misurate lungo l'asse di riferimento x della geometria (ad esempio, MEDIA PNT30-31 vs PLN11, 2d Distance PNT4-PNT32), nonostante siano caratterizzate da valori di n molto ridotti.

Il campione 1, raffigurato in Figura 28, presenta una discreta regolarità per le terne relative alle ispezioni di ciascuno degli intervalli ISO considerati. Si può osservare come l'intervallo "3-6" si discosti notevolmente rispetto agli altri e, osservando i dati corrispondenti alle ispezioni svolte per il diametro della cavità cilindrica, ci si accorge di come contengano ognuna un valore molto più rilevante rispetto alla media. Ciò permette di ipotizzare una classificazione migliore, nel caso in cui fosse stato svolto un numero maggiore di rilevazioni, con conseguente esclusione delle suddette misure dai valori residui.

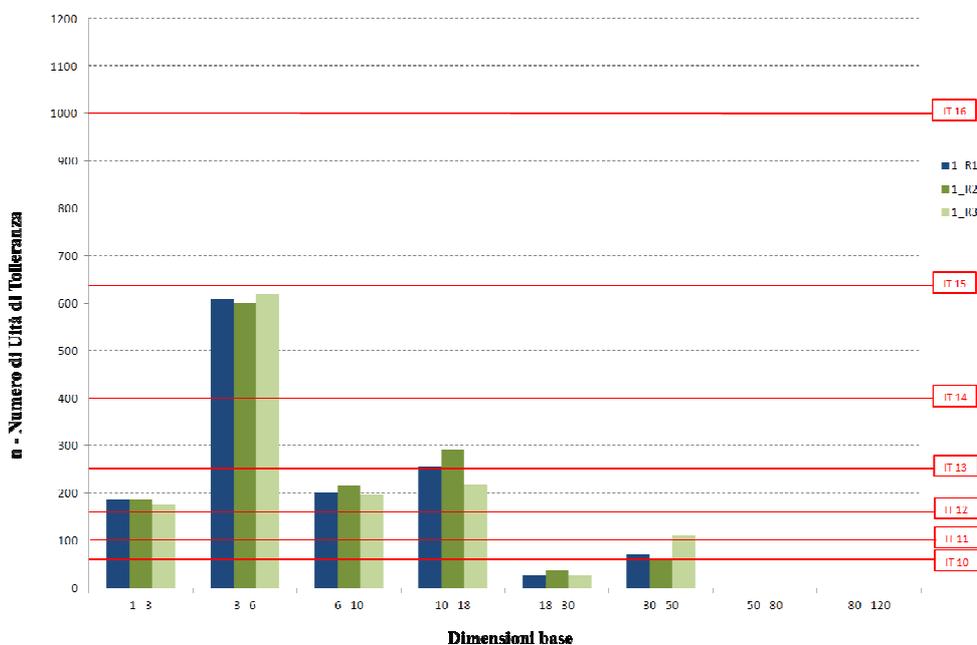


Figura 28 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 2: campione 1

Un andamento molto simile è riscontrabile anche nel caso del campione 2, per il quale la causa del picco in corrispondenza dell'intervallo "3-6" è riconducibile alle dimensioni della stessa cavità, anomale tra i valori residui come visto per il caso precedente.

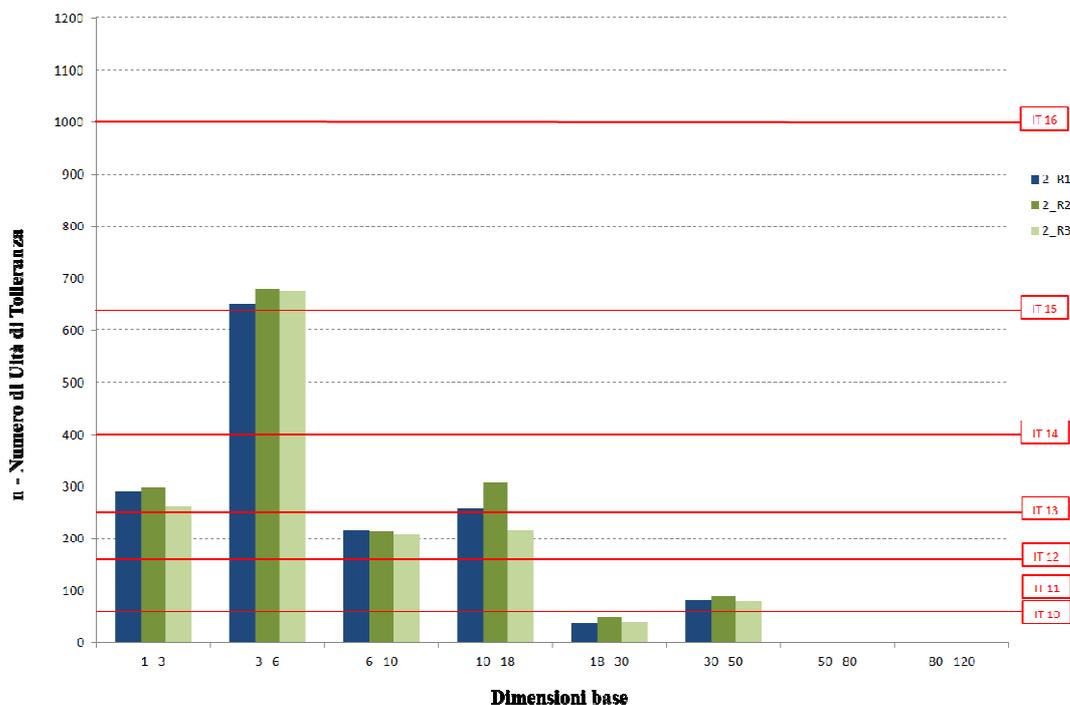


Figura 29 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 2: campione 2

Anche per il campione 3, è possibile sostenere le stesse affermazioni, estendibili alla terna di misure raccolte per l'intervallo "1-3", per effetto della criticità in questo singolo campione riferibile alla cavità a base quadrata più profonda, come evidenziato nel grafico seguente. A differenza dei casi già descritti, questo risultato è convalidato da un numero di dati superiore.

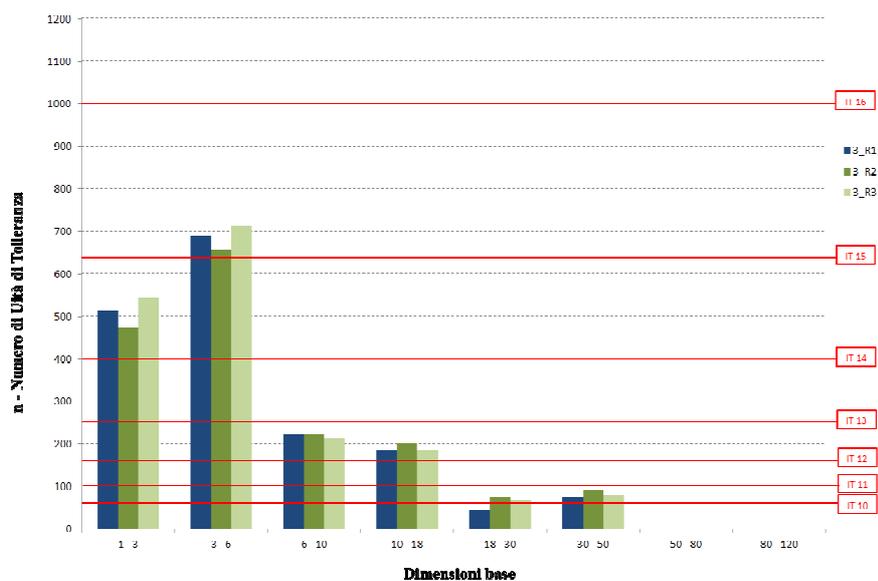


Figura 30 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 2: campione 3

La realizzazione del campione 4, secondo quanto riportato in Figura 31, è stata caratterizzata in generale da una buona accuratezza dimensionale, compresa tra i gradi IT10 e IT14. È possibile affermare ciò analizzando i valori allegati, dai quali è possibile verificare la presenza di valori estremamente distanti dalla media delle distribuzioni relative alla terna considerata, dovuti ancora una volta alla bassa definizione raggiunta per la geometria già citata. Non essendo stati esclusi dal 95° percentile, la loro influenza sulla classificazione è contribuisce in modo marcato.

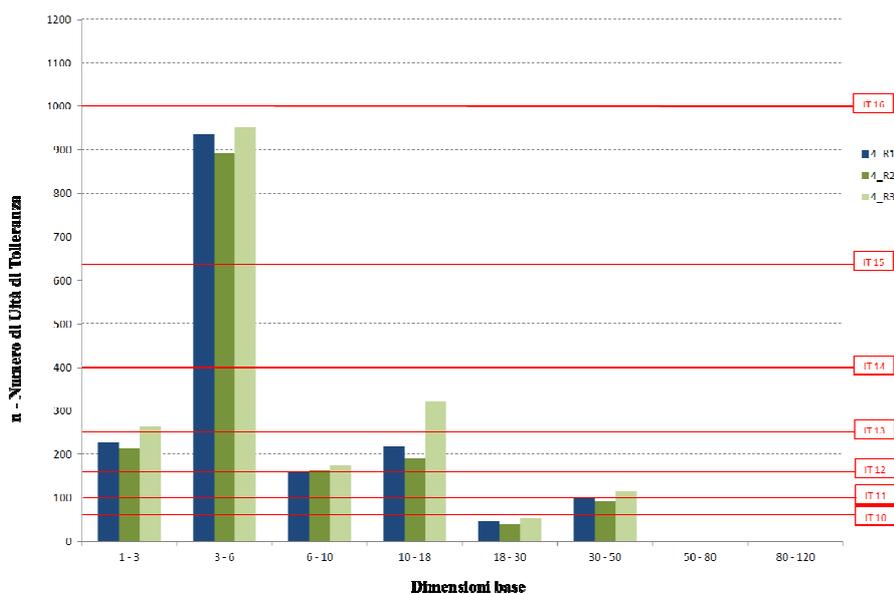


Figura 31 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 2: campione 4

Il grafico relativo al campione 5 del lotto in esame conferma quanto finora analizzato poiché le irregolarità in esso contenute sono riconducibili alla geometria critica ricorrente, alle quali si aggiunge, per il range "1-3" una misura irregolare isolata, rilevata durante la terza ispezione e riferita alla cavità del poligono intermedio.

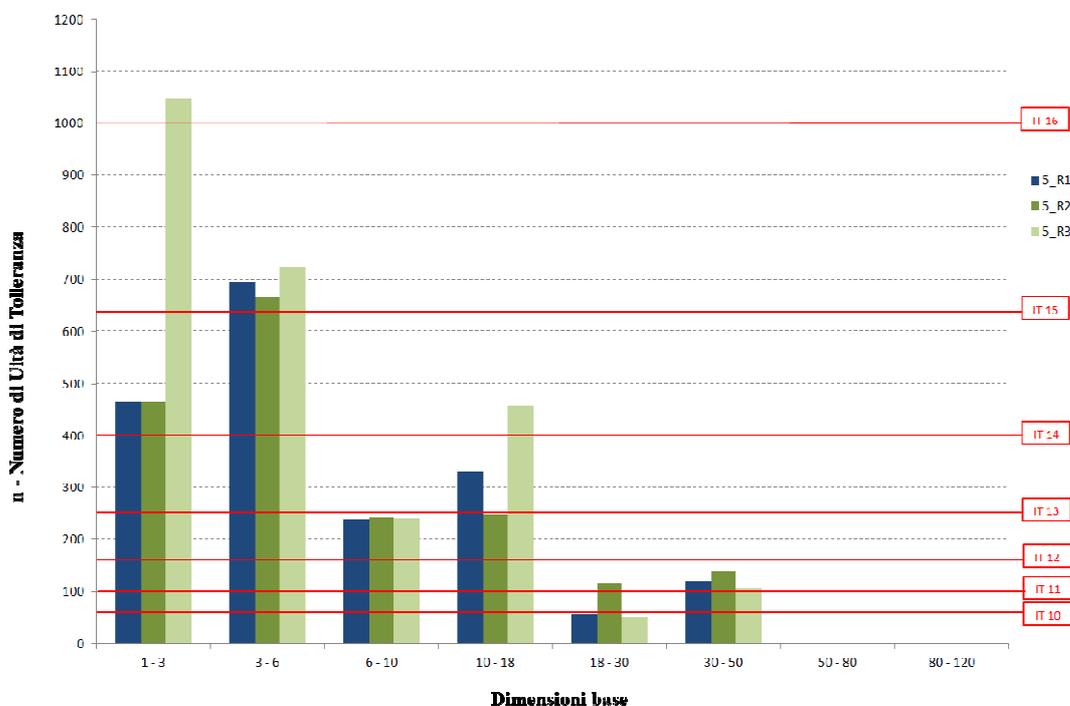


Figura 32 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 2: campione 5

Concludendo l'analisi dimensionale riferita a questa geometria, è possibile affermare che a prima vista i risultati riassunti in Figura 33 appaiono molto differenti rispetto al lotto precedente, caratterizzato da dimensioni paragonabili.

La criticità più ricorrente si riscontra nella realizzazione della geometria cilindrica, come già risultato evidente durante l'analisi visiva dei campioni; tuttavia, le considerazioni attribuite ai dati raccolti permettono di ipotizzare che, con riferimento all'intervallo di misura ISO "3-6", un incremento di numerosità delle misurazioni potrebbe condurre ad un miglioramento delle performance della stampante 3D Touch per la geometria 2, presumibilmente verso le classi IT10 e IT13 tra le quali si assesta il grafico riassuntivo.

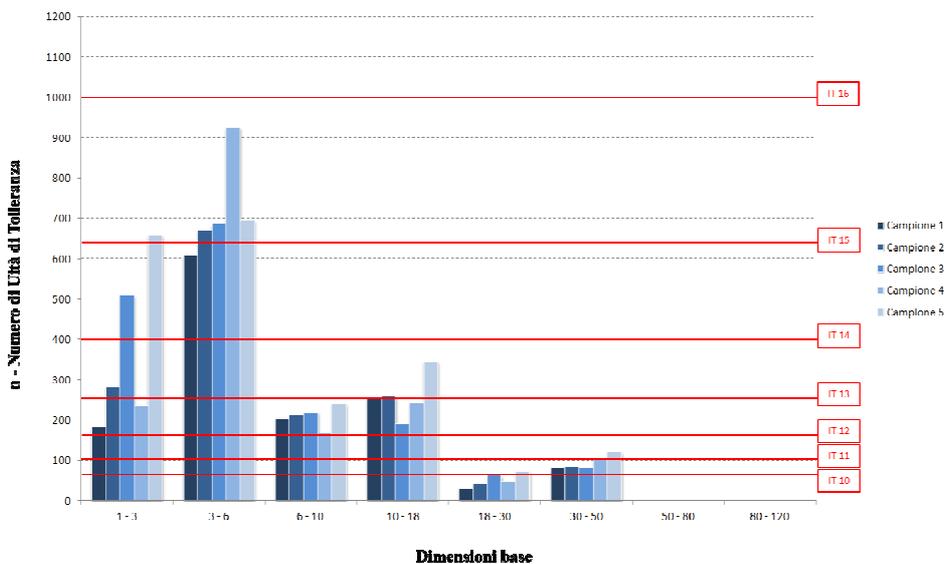


Figura 33 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte su tutti i campioni del lotto 2

5.4.3 Analisi geometria 3

Il terzo lotto è geometricamente caratterizzato da una dimensione dominante rispetto alle altre, secondo un rapporto di 1:4 circa, e una varietà di forme tale da contribuire all'analisi con il maggior numero di misurazioni distribuite su tutti gli intervalli dimensionali esaminati.

In Tabella 9, è riportata la distribuzione delle 242 misurazioni considerate effettuate all'interno dei singoli intervalli dimensionali.

Tabella 9 - Distribuzione delle misurazioni valide per la caratterizzazione del lotto 3

Range [mm]	1 - 3	3 - 6	6 - 10	10 - 18	18 - 30	30 - 50	50 - 80	80 - 120	TOT
Valori	69	49	20	34	26	34	2	8	242

Per citare le principali, secondo i dati contenuti ed evidenziati in blu all'interno dell'Allegato 3, tra le misure dell'intervallo dimensionale "1-3" risulta evidente una

distribuzione relativamente omogenea, non riferita a forme particolari. Anche l'intervallo di misura successivo presenta un certo equilibrio tra i valori esclusi dall'analisi, ad eccezione della maggior parte delle distanze riferite alla superficie superiore del profilo definito dal diametro maggiore (ad esempio, PLN4-PLN39, PLN5-PLN39, PLN6-PLN39). Misure riferibili alla stessa forma risultano, in parte, escluse dall'intervallo "6-10" (PLN31-PLN39, PLN34-PLN39). Per quanto riguarda l'intervallo di misura "10-18", è possibile confermare una distribuzione generalizzata dei valori esclusi, gran parte dei quali misurati lungo l'asse z (ad esempio, PLN2-PLN31, PLN3-PLN34, PLN6-PLN33,...). All'interno dell'intervallo "30-50" risultano esclusi, in modo predominante, i valori relativi al diametro della parete circolare più ampia (CYL4, MEDIA CIR 9-10-11).

È utile segnalare, per l'intervallo ISO "80-120", l'esclusione dei valori corrispondenti alle distanze tra le estremità opposte del modello lungo l'asse x, conseguenza di una flessione dei campioni da attribuire alla ritrazione del materiale nel tempo.

Osservando tutti i grafici seguenti, appare evidente come le ispezioni effettuate sui cinque campioni, presentino una notevole regolarità tra loro ad indicare la stabilità dei valori considerati entro il limite del 95° percentile.

A partire dalla Figura 34, si nota come la tendenza seguita dalla distribuzione sia decrescente per dimensioni inferiori a 18 mm, seguito da un andamento che mediamente si regolarizza per gli intervalli di misura superiori.

L'accuratezza dimensionale relativa ai due range di misura inferiori si assesta intorno al limite superiore del grado IT16, segno di una scarsa accuratezza dimensionale, raggiungendo gradualmente il grado IT12 in corrispondenza del minimo. Ciò è dovuto al fatto che, per le dimensioni comprese tra 1 mm e 18 mm, le distribuzioni corrispondenti contengono valori di n molto variabili e generalmente alti, a differenza degli intervalli di misura superiori.

Osservando i dati, si nota come i valori di n maggiormente influenti siano riconducibili alle dimensioni disposte lungo gli assi di riferimento x e z, con riferimento al confronto tra le geometrie presenti sul lato caratterizzato da un solo livello e quelle centrali. Questo aspetto, già intuibile in fase di osservazione dei campioni, è confermato dalla deformazione evidenziata dal basamento della struttura.

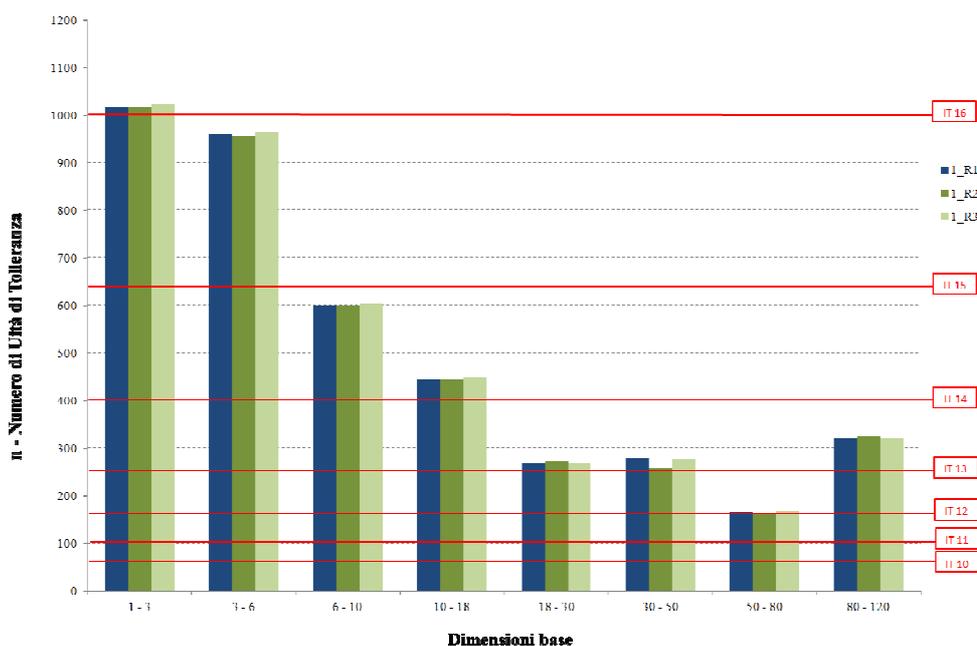


Figura 34 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 3: campione 1

Per il campione 2 è possibile fare le stesse considerazioni, evidenziando come sia presente una maggior stabilità dei valori residui raggruppati negli intervalli ISO "1-3" e "3-6", come riportato in Figura 35.

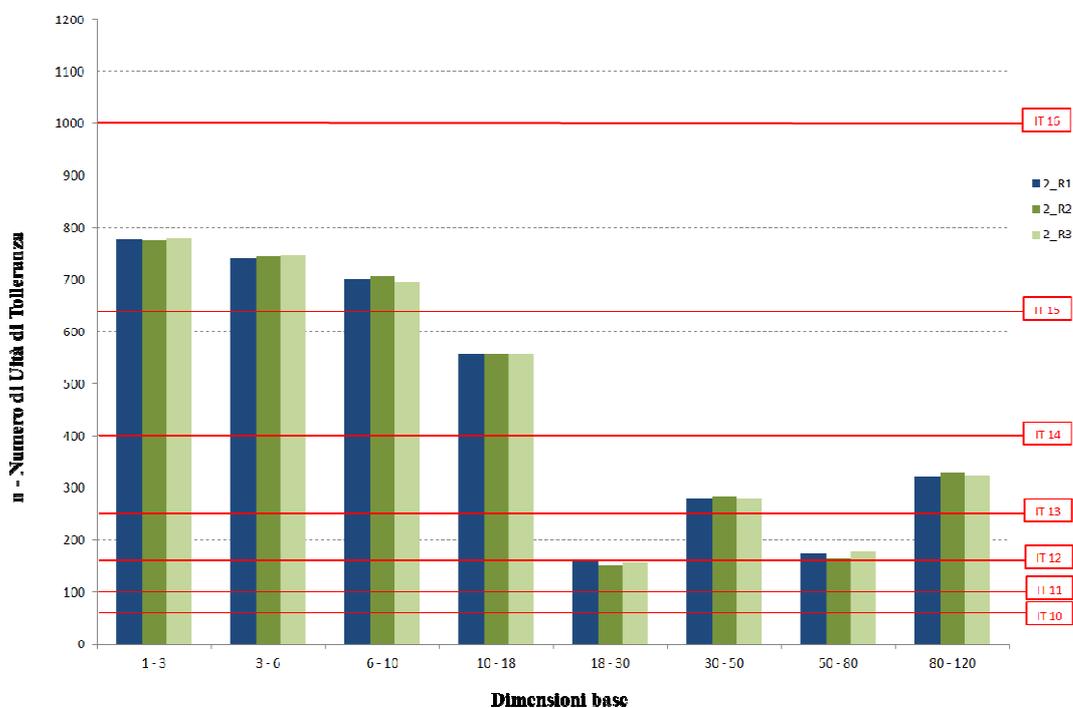


Figura 35 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 3: campione 2

Il campione 3 conferma l'andamento già visto e, analizzando i dati riportati nel corrispondente Allegato, è possibile verificare come la distribuzione dei valori contenuti al di sotto della soglia del 95% sia più bassa e omogenea e, quindi, conduca ad una maggior accuratezza dimensionale, soprattutto per quanto riguarda gli intervalli dimensionali inferiori. Le geometrie critiche sono riconducibili alle stesse dei precedenti campioni, ma in quantità minore. In particolare, l'irregolarità evidenziabile nel range "3-6" di Figura 36 è da attribuire alle ispezioni 3_R1 e 3_R2, le quali riportano in tre casi valori di n superiori ai corrispondenti della distribuzione 3_R3. Ciò significa, come già visto in precedenza, che i primi contribuiscono a mantenere più elevato il valore di n in corrispondenza della soglia, rispetto alla terza ispezione che risulta, quindi, più accurata.

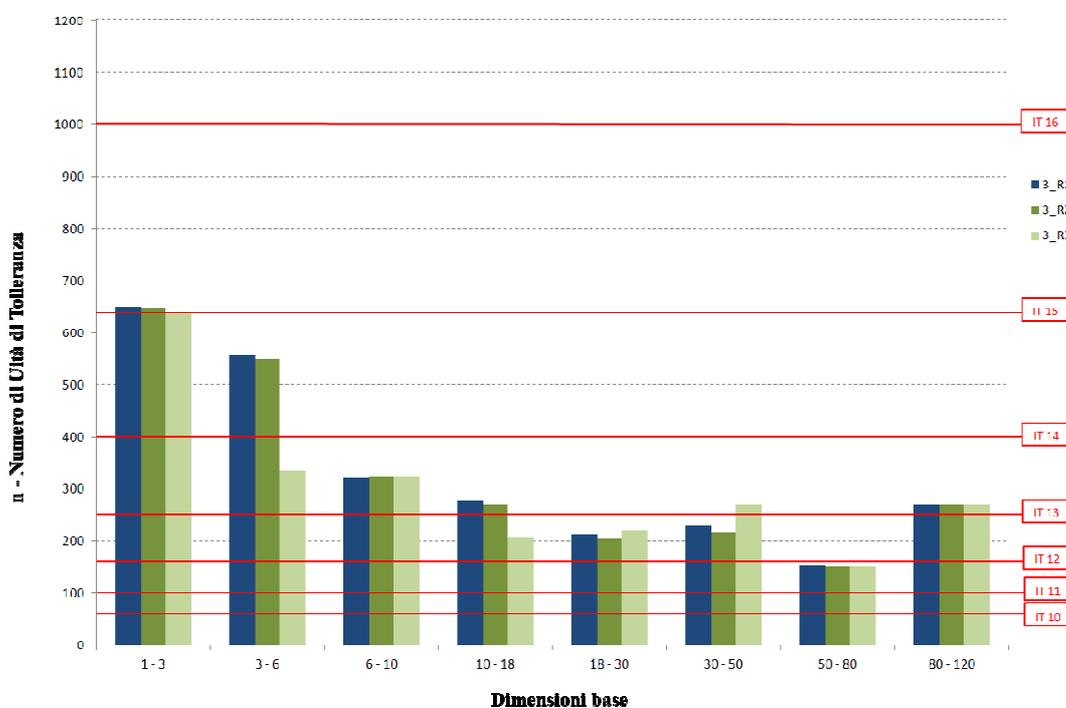


Figura 36 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 3: campione 3

Per quanto riguarda la rappresentazione del campione 4, essa è confrontabile con il grafico del campione 1 e spiegabile come fatto finora, poiché le geometrie maggiormente influenti corrispondono alle precedenti.

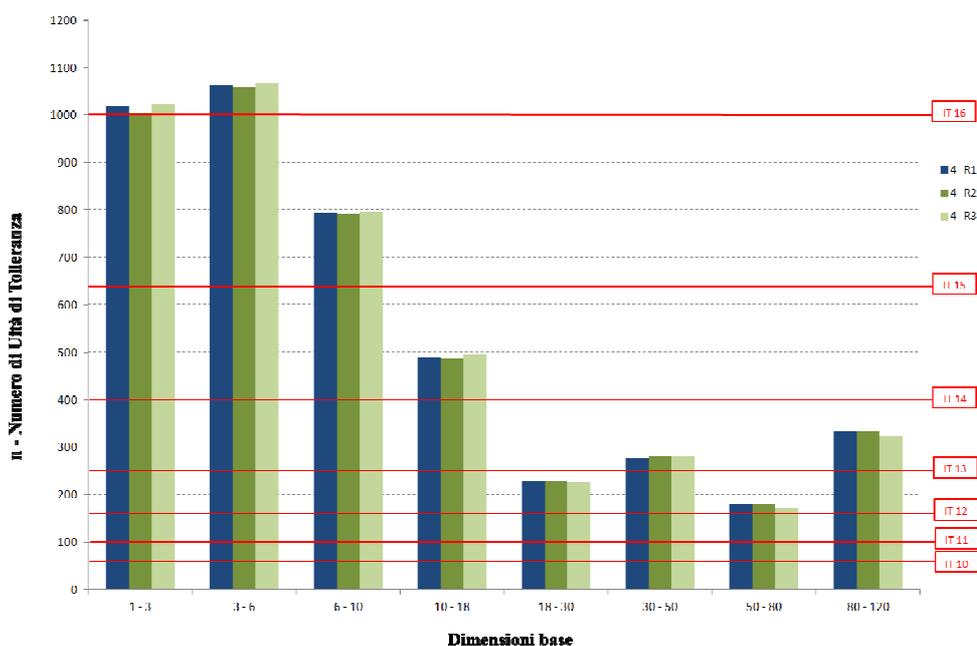


Figura 37 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 3: campione 4

Il campione 5, a differenza di quanto visto finora per la geometria in esame, mostra una certa irregolarità rispetto alle tendenze emerse. Il motivo di ciò risiede nel fatto che, con riferimento all'intervallo "3-6", le misure considerate contribuiscono ad ottenere un valore di n inferiore rispetto agli altri campioni.

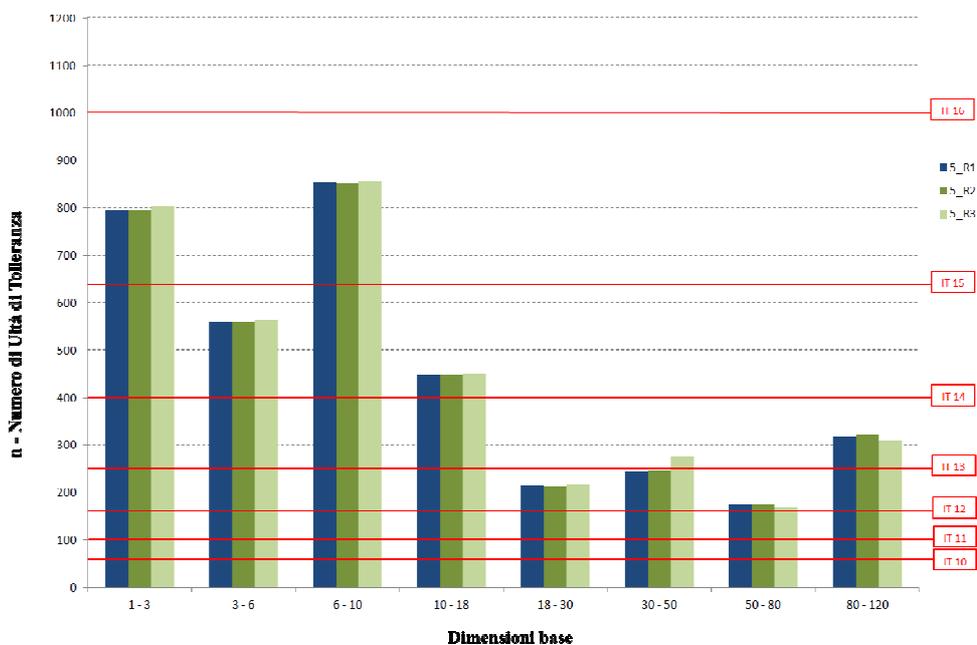


Figura 38 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 3: campione 5

Osservando il grafico di sintesi in Figura 39, è confermata la tendenza generale già evidenziata per ciascun grafico e documentata in altri lavori. Tuttavia, per le dimensioni geometriche inferiori a 18 mm, è evidente la mancanza di regolarità tra i campioni.

La spiegazione della scarsa accuratezza dimensionale risiede probabilmente nella deformazione subita dai campioni ed evidenziata dalle misurazioni svolte rispetto alle due direzioni principali x e y, sia per gli intervalli di misura inferiori sia per quello superiore, in corrispondenza del quale è presente un peggioramento della definizione.

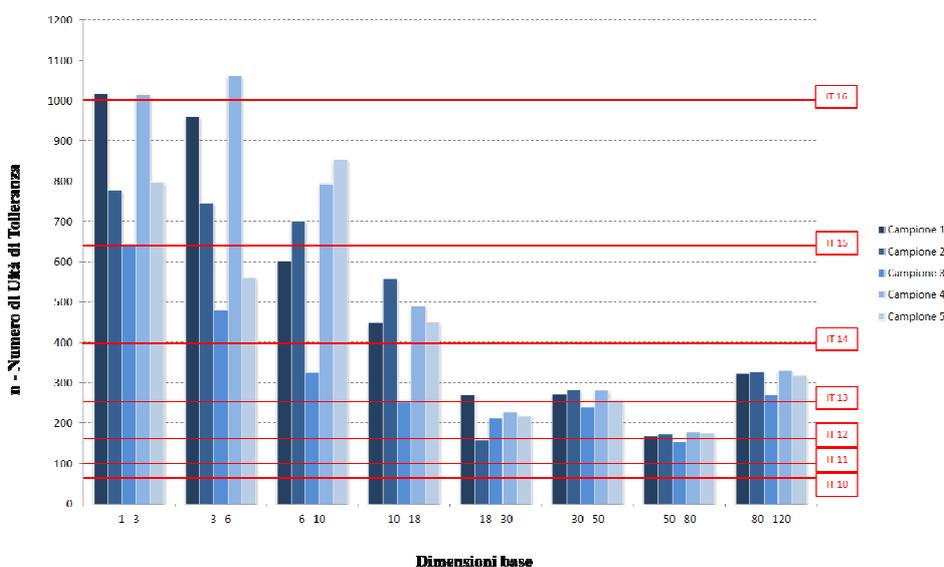


Figura 39 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte su tutti i campioni del lotto 3

5.4.4 Analisi geometria 4

L'analisi svolta sui campioni del lotto 4 risulta caratterizzata da un numero di misurazioni complessivo pari a 62, la maggior parte delle quali è concentrata nell'intervallo di dimensioni ISO "1-3", poiché la varietà di forme per la geometria in esame risulta contenuta.

Tabella 10 - Distribuzione delle misurazioni valide per la caratterizzazione del lotto 4

Range [mm]	1 - 3	3 - 6	6 - 10	10 - 18	18 - 30	30 - 50	50 - 80	80 - 120	TOT
Valori	41	4	7	5	5	0	0	0	62

Sulla base dei valori evidenziati con il colore blu all'interno dell'Allegato 4, le misure escluse dall'intervallo "1-3" sono ripartite tra le grandezze misurate senza evidenti concentrazioni, tuttavia la parte di essi è riconducibile alle due geometrie cilindriche superiori (CYL13). Per quanto riguarda il range "6-10", la dimensione critica è quella che definisce il diametro del cilindro superiore (CYL13), mentre dal range "10-18" è escluso il diametro che caratterizza il secondo cilindro calcolato dalla sommità del modello (MEDIA CYL 1-5-9-14) e dall'intervallo "18-30" non è considerato ai fini dei grafici il diametro riferito al terzo cilindro (MEDIA CYL 2-6-10-15).

Quindi, dall'analisi del lotto 4 sono escluse dal limite di soglia, che ricordiamo corrispondere al 95% dei dati raccolti, le dimensioni che riguardano il diametro e la posizione nel piano x-y dei tre cilindri superiori, mentre non risulta criticità particolare per le misurazioni effettuate lungo l'asse z del modello.

Osservando il grafico relativo al campione 1, risulta subito evidente come l'intervallo di misura "1-3" sia critico perchè influenzato dal valore riferito alla posizione lungo l'asse y e dell'asse del cilindro superiore, considerato nell'ispezione 1_R3. Si tratta, quindi, di una singolarità rispetto alle altre due ispezioni sullo stesso pezzo che influenza negativamente il grado IT corrispondente. Contribuiscono alla bassa precisione dimensionale anche alcune misure svolte lungo la direzione dell'asse z del modello, riguardanti in modo generalizzato sia le superfici dei cilindri ad esso ortogonali sia le distanze reciproche.

In generale, tuttavia, è possibile riconoscere due tendenze al miglioramento dell'accuratezza dimensionale per gli intervalli considerati.

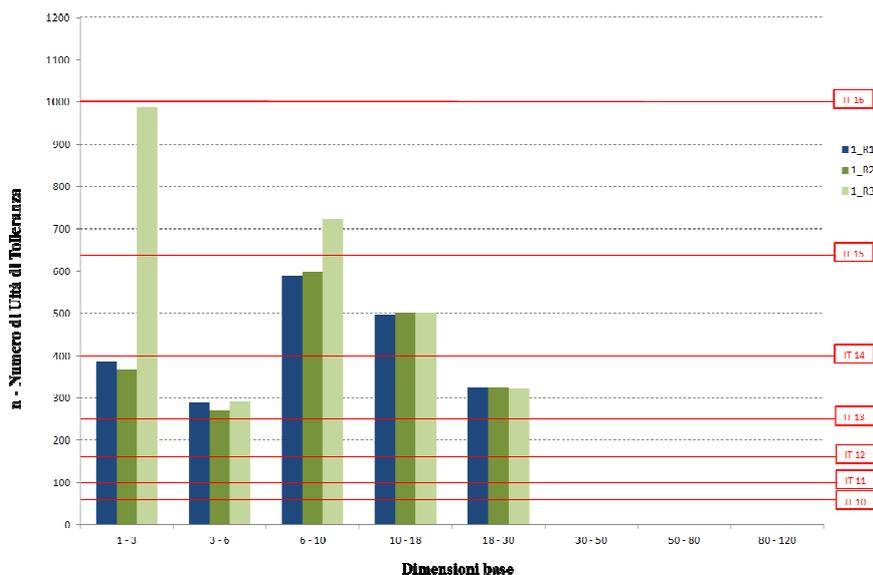


Figura 40 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 4: campione 1

Le figure 41 e 42, raffigurano la classificazione rispettivamente dei campioni 2 e 3 per il lotto in esame. Essi risultano particolarmente confrontabili con il campione appena descritto e, parzialmente, meno influenzate da valori con incidenza negativa. Questi ultimi, peraltro, corrispondono alle grandezze critiche alle quali si è fatto riferimento in precedenza.

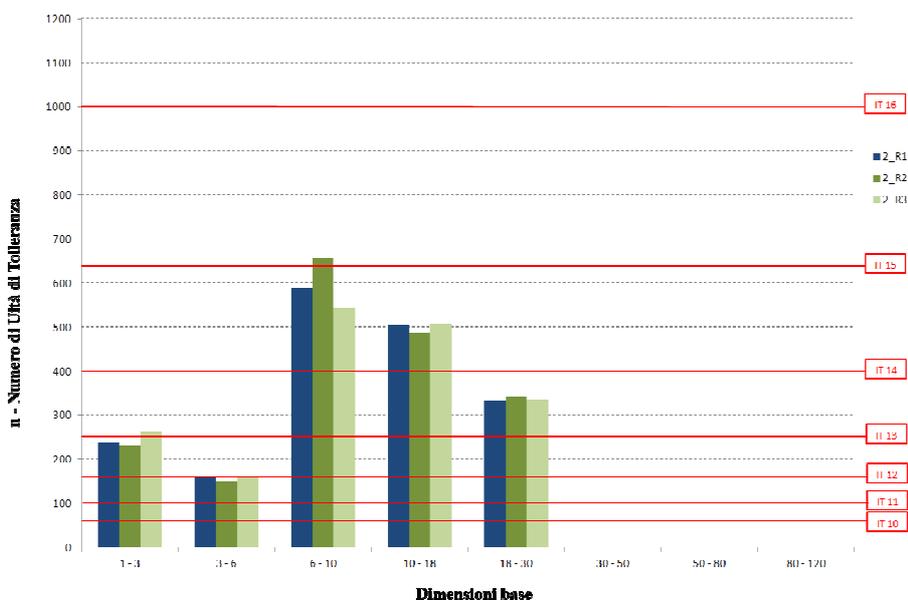


Figura 41 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 4: campione 2

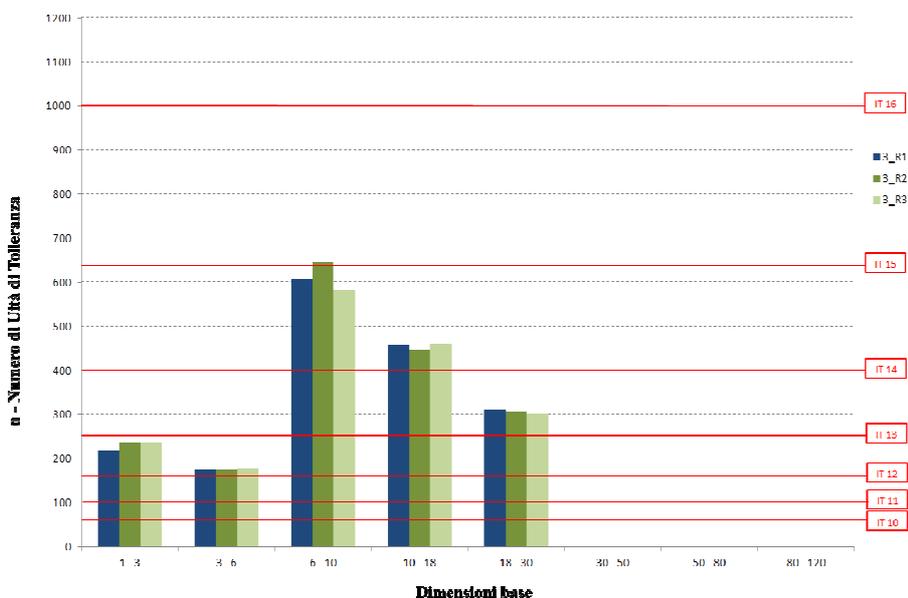


Figura 42 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 4: campione 3

Per i campioni 4 e 5, caratterizzati in Figura 43 e 44, sono ripetibili le stesse osservazioni già presentate per i campioni già analizzati, sia in merito all'andamento generale sia riguardo alle barre affette da criticità. All'interno degli intervalli "1-3" e "3-6" sono infatti presenti valori che, ripetendosi anche a causa della bassa numerosità, contribuiscono ad innalzare il grado IT corrispondente, segnalando un'accuratezza dimensionale inferiore.

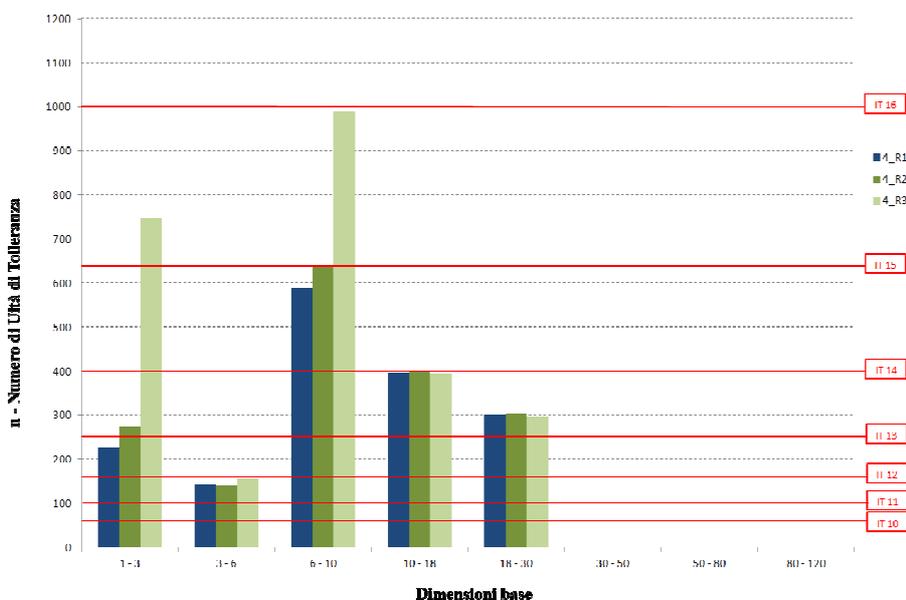


Figura 43 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 4: campione 4

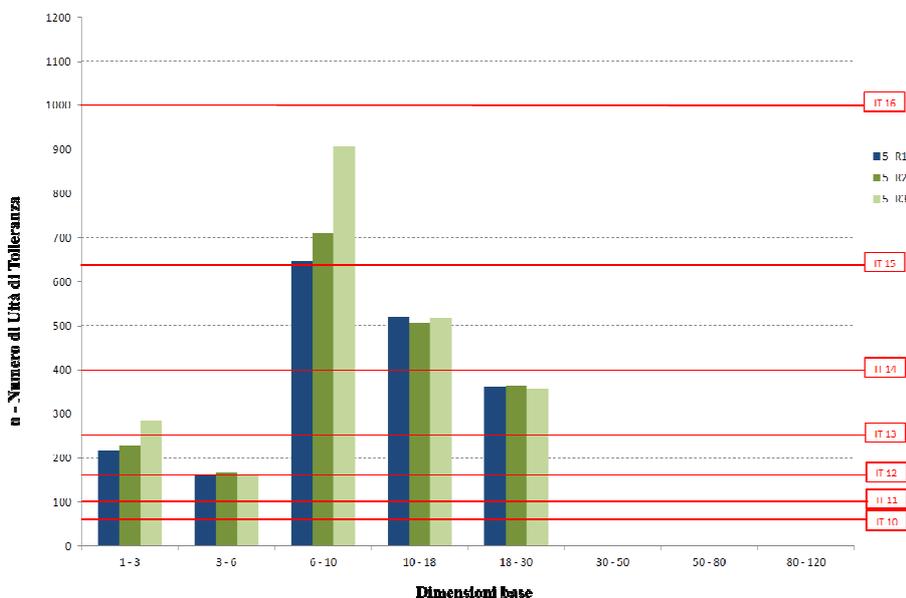


Figura 44 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 4: campione 5

Riassumendo quanto evidenziato per questa geometria, è possibile affermare che i due intervalli ISO inferiori sono caratterizzati da un'accuratezza dimensionale maggiore, compresa tra i gradi IT12 e IT13 se si trascurano le incongruenze descritte. L'intervallo "6-10" mostra un repentino peggioramento delle prestazioni, imputabile alle misurazioni svolte sul cilindro superiore, dopo il quale l'accuratezza della macchina riprende una tendenza crescente da IT15 a IT14.

Per completezza della trattazione, è opportuno porre attenzione alla scarsità di misure contenute all'interno degli intervalli ISO, escludendo il range "1-3". A tal proposito, è possibile ipotizzare una variazione della caratteristica presa in esame nel caso in cui sia rappresentata da un numero di dati maggiore rispetto a quello attuale.

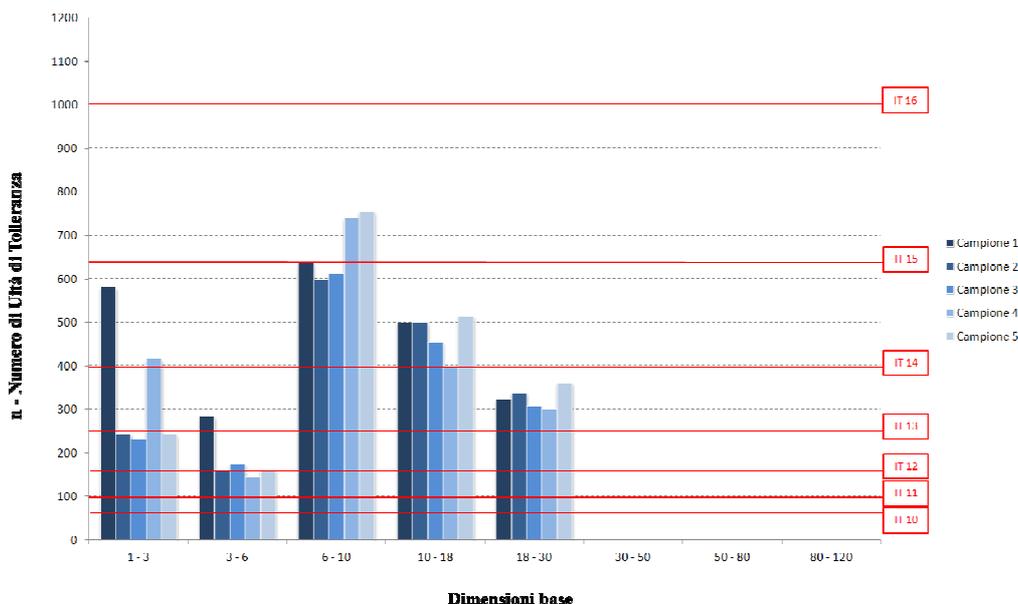


Figura 45 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte su tutti i campioni del lotto 4

5.4.5 Analisi geometria 5

L'ultimo lotto preso in considerazione ai fini di questo studio, è stato caratterizzato da un numero di misurazioni complessivo pari a 165.

Tabella 11 - Distribuzione delle misurazioni valide per la caratterizzazione del lotto 5

Range [mm]	1 - 3	3 - 6	6 - 10	10 - 18	18 - 30	30 - 50	50 - 80	80 - 120	TOT
Valori	45	43	27	26	17	7	0	0	165

Con riferimento all'Allegato 5, le grandezze geometriche escluse dalla rappresentazione del range "1-3" riguardano principalmente la parete longitudinale interna, in corrispondenza del primo segmento obliquo più alto e quella ad essa ortogonale, facente parte del poligono adiacente (PLN21, PLN12-PLN22, PLN17-PLN22). Dagli intervalli "3-6" e "6-10" sono escluse, in modo particolare, le distanze riferite alla parete principale già scartata dal precedente intervallo (PLN22, PLN15-PLN22, PLN22-PLN33). Per quanto riguarda il range "10-18", le misure escluse dalla soglia del 95° percentile si concentrano nei confronti della parete comune ai vari poligoni (PLN9, PLN9-PLN24). Infine, dagli intervalli dimensionali superiori non è semplice individuare una geometria critica in particolare, nonostante siano escluse dal valore limite grandezze misurate lungo gli assi x e z di riferimento (ad esempio, PLN4-PLN6).

Il primo campione analizzato e riportato in Figura 46 presenta un tendenza al miglioramento della precisione dimensionale, all'aumentare delle dimensioni geometriche, come visto anche nelle altre geometrie. Le ispezioni svolte risultano sufficientemente regolari in tutti gli intervalli di misura ISO. All'interno dell'intervallo di misura "1-3", in particolare, le misure caratterizzate da n elevato considerate entro il limite di soglia del 95% sono presenti in numero considerevole e, quindi, spiegano le classificazioni con grado IT maggiore. Queste riguardano caratteristiche geometriche lungo gli assi x e y e sono localizzabili nell'area della geometria che presenta altezza maggiore.

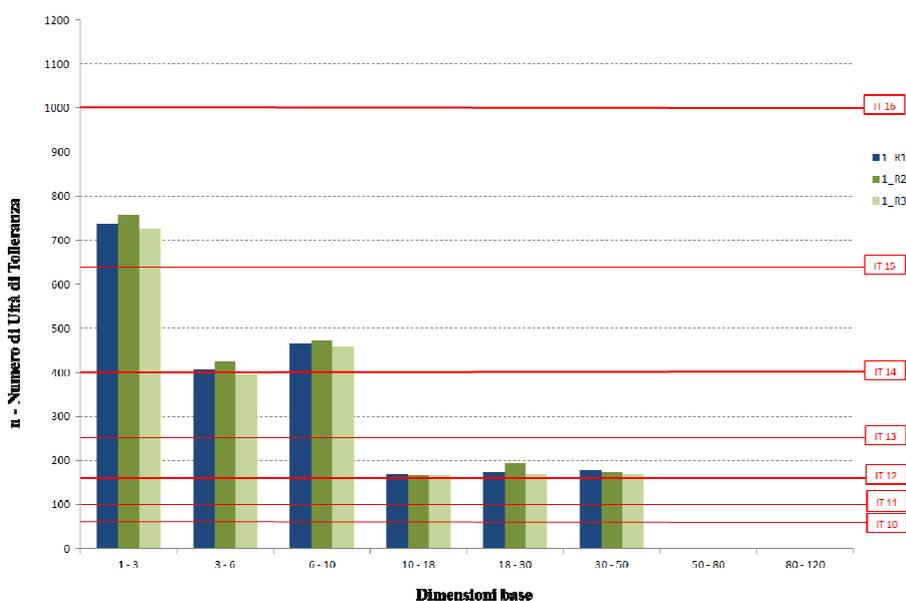


Figura 46 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 5: campione 1

In Figura 47 è riportata l'analisi relativa al campione 2 e, come si può notare, è risultato essere il pezzo prodotto con accuratezza dimensionale più costante tra quelli che costituiscono il lotto in esame. Dall'intervallo di misura "3-6" verso dimensioni maggiori, la classificazione si assesta tra i gradi IT12 e IT13 con apprezzabile regolarità. Il range inferiore è spiegabile in modo simile a quanto detto per il campione precedente, seppur in tono minore.

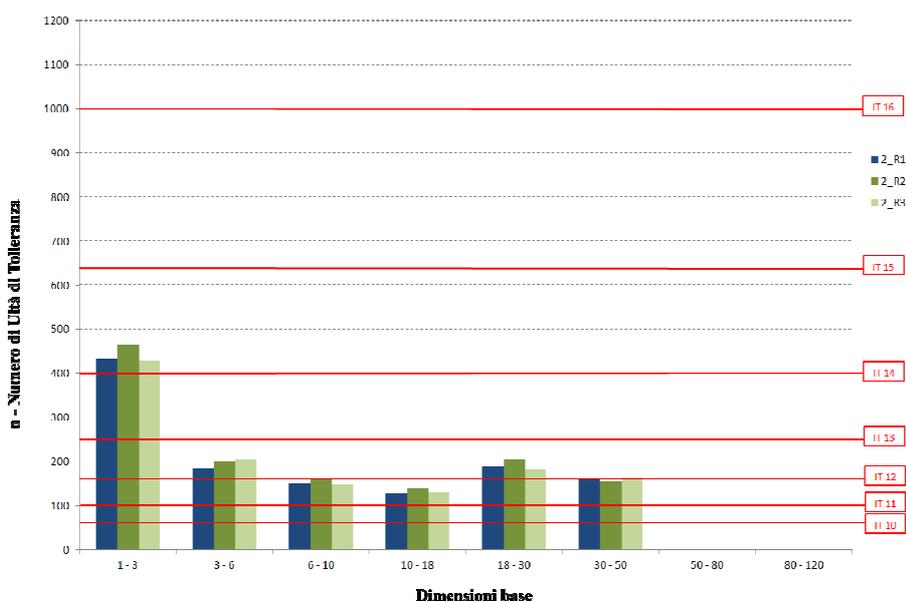


Figura 47 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 5: campione 2

Secondo l'analisi effettuata per il campione 3, torna evidente l'andamento crescente della classificazione, caratterizzato da un graduale miglioramento delle tolleranze all'aumentare delle dimensioni geometriche. Ciò risulta in Figura 48 e nella successiva, riguardante il campione 4, nelle quali si possono anche individuare due irregolarità in corrispondenza dell'intervallo "3-6", entrambe attribuibili, secondo l'interpretazione dei dati raccolti, al peso di alcune misure considerate e rilevate ancora una volta in prossimità delle forme caratterizzate da altezza maggiore.

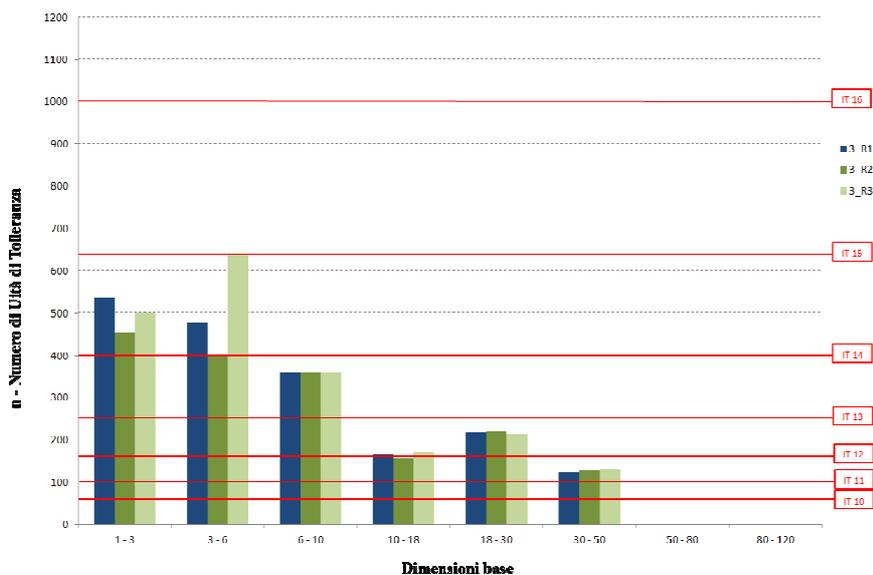


Figura 48 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 5: campione 3

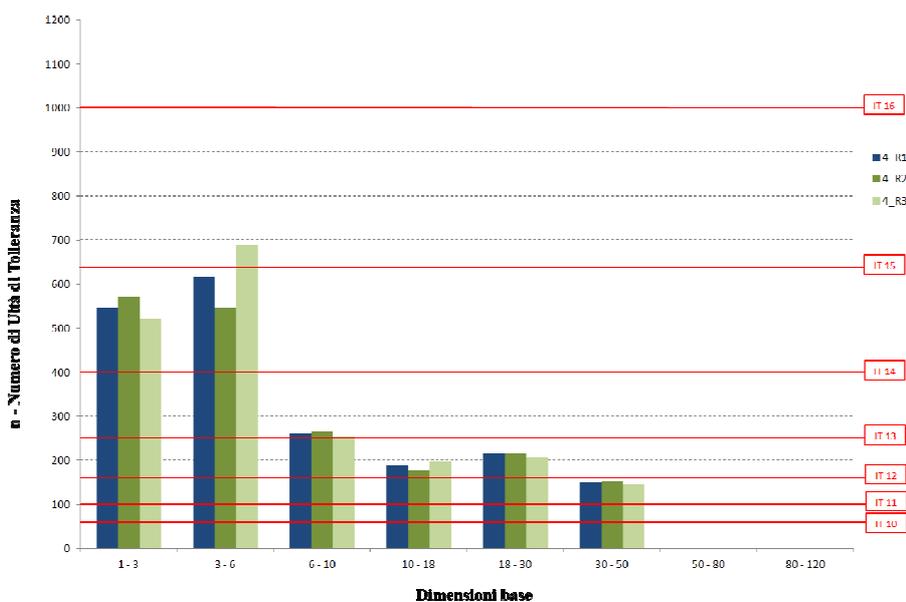


Figura 49 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 5: campione 4

Le tolleranze dimensionali riferite a forme geometriche assimilabili alle stesse che caratterizzano gli intervalli di misura "1-3" e "3-6" nei due precedenti grafici sono evidenti anche per l'ultimo campione rappresentato in Figura 50, caratterizzato anch'esso da un miglioramento della precisione all'aumentare degli intervalli di misura.

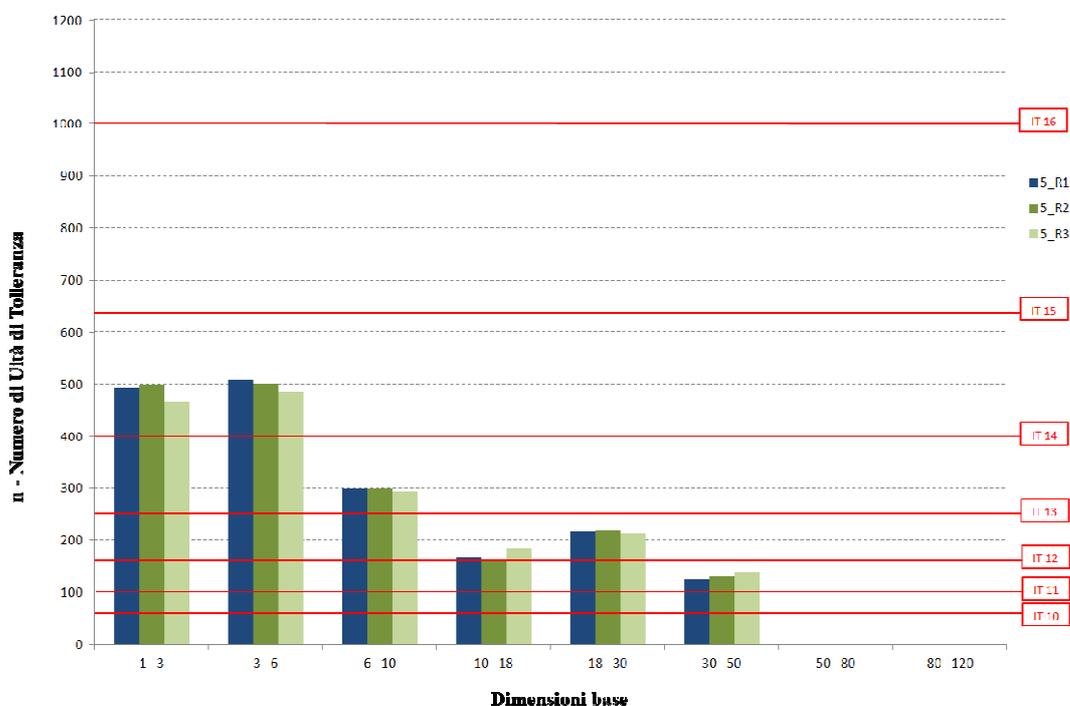


Figura 50 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte sul lotto 5: campione 5

Dal grafico di sintesi riportato di seguito si può notare come, anche nel caso di questo lotto, persista la tendenza al miglioramento delle prestazioni della macchina, in modo concorde con l'aumento delle dimensioni geometriche. Tuttavia, una linearità dell'andamento è solo parzialmente intuibile a causa della variazione nelle medie delle terne prese in esame, riconducibile ai motivi precedentemente esaminati, nonostante la numerosità delle dispersioni sia maggiore rispetto ad altre geometrie considerate.

Considerando le geometrie considerate entro il limite di soglia del 95% e contraddistinte da valori di n, è possibile notare che si concentrino verso il lato caratterizzato da maggiore altezza. Questo aspetto potrebbe trovare spiegazione nella deformazione subita dal basamento della struttura ed evidenziata dalla analisi visive descritte in precedenza.

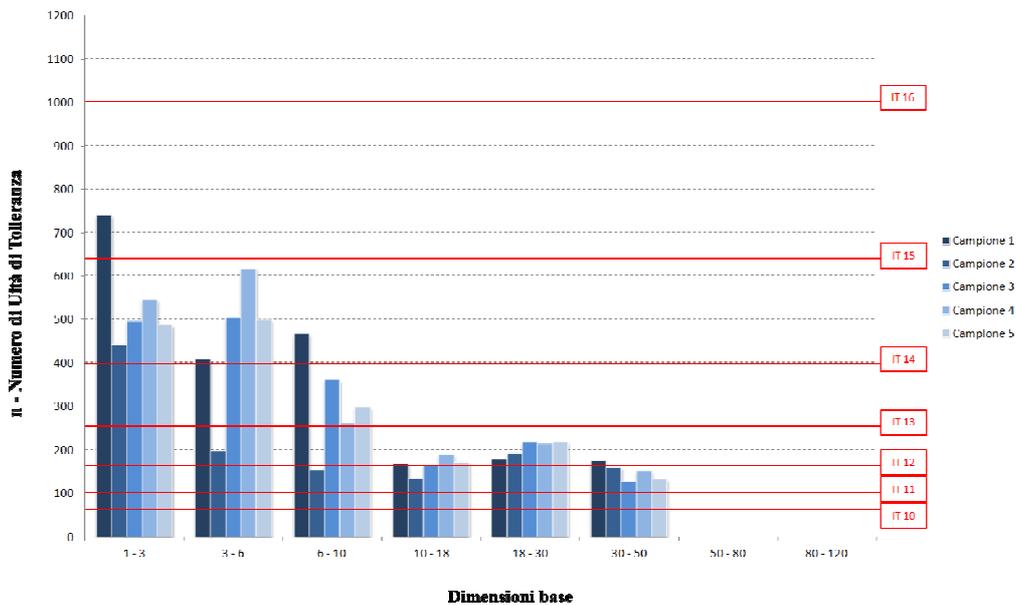


Figura 51 - Accuratezza dimensionale (95° percentile) relativa alle ispezioni svolte su tutti i campioni del lotto 5

5.5 Sintesi dei risultati ottenuti

A conclusione delle analisi svolte finora, si intende riportare di seguito un'ulteriore sintesi dei risultati ottenuti. L'intento perseguito è stato quello di valutare se, raggruppando le classificazioni relative a ciascuna geometria secondo il calcolo del valore medio, risultasse evidente qualche correlazione tra i criteri adottati durante l'attività.

Di seguito, viene riportata una tabella conclusiva riordinata secondo i due spessori di strati adottati durante il processo di fabbricazione. Durante la definizione dei set di parametri da utilizzare, infatti, è stato previsto che le geometrie 1, 3 e 4 fossero prodotte con una definizione più grossolana, corrispondente al valore di 0,250 mm. Le geometrie 2 e 5, invece, sono state caratterizzate da uno spessore di layer pari a 0,125 mm.

Tabella 12 - Raccolta dei risultati ottenuti per ciascuna geometria analizzata

	Range [mm]	1-3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	TOT
Geometria 1	95%	297,038	285,471	221,884	346,323	109,634	78,698	-	-	77
	Valori	25	14	11	25	1	1	-	-	
	Media	143,042	122,431	104,972	153,423	109,634	78,698	-	-	
	Dev.St	112,250	94,031	71,712	98,235	-	-	-	-	
Geometria 2	95%	850,878	762,059	655,405	438,872	216,439	265,534	168,216	313,096	242
	Valori	69	49	20	34	26	34	2	8	
	Media	308,842	260,031	316,889	186,543	137,678	193,355	161,913	286,931	
	Dev.St	272,697	263,872	212,232	134,989	54,598	53,861	9,905	22,651	
Geometria 3	95%	343,095	185,578	668,091	473,591	326,519	-	-	-	62
	Valori	41	4	7	5	5	-	-	-	
	Media	91,667	139,256	239,973	146,774	208,815	-	-	-	
	Dev.St	131,690	92,413	289,149	237,984	127,634	-	-	-	
Geometria 4	95%	374,040	717,178	208,931	259,441	51,355	94,376	-	-	160
	Valori	75	20	26	32	5	2	-	-	
	Media	135,464	184,402	106,041	118,882	30,458	77,908	-	-	
	Dev.St	124,195	217,470	65,361	98,381	17,959	25,876	-	-	
Geometria 5	95%	542,306	445,118	307,428	164,558	203,655	148,360	-	-	165
	Valori	45	43	27	26	17	7	-	-	
	Media	192,993	144,230	130,035	80,883	94,619	120,722	-	-	
	Dev.St	182,742	149,324	105,562	55,790	62,136	22,794	-	-	

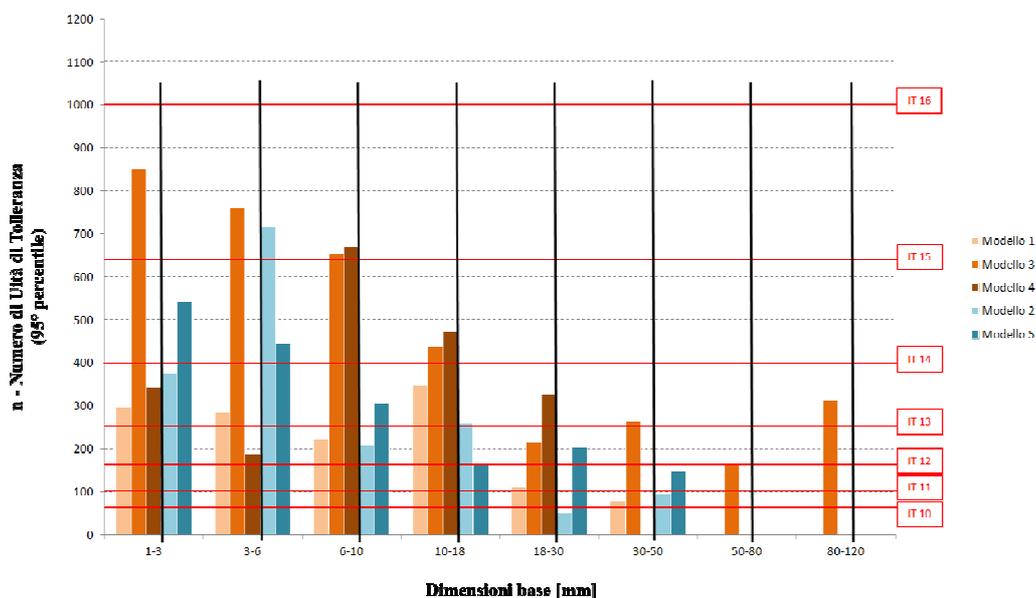


Figura 52 - Tendenze corrispondenti a ciascuna delle geometrie, raccolte secondo gli spessori adottati

Dall'osservazione del grafico relativo alla Figura 52, a un primo sguardo, non appare evidente alcun legame particolare che possa accomunare le cinque geometrie.

Tuttavia, escludendo tra quelle rappresentate le geometrie caratterizzate da un numero minore di misurazioni e considerando esclusivamente quella più significativa, dal punto di vista statistico, per ciascuno spessore di strato, ossia la geometria 3 ($h = 0,250$ mm) e la geometria 2 ($h = 0,125$ mm), risulta evidente come il livello di precisione dimensionale cresca all'aumentare delle dimensioni di base ISO fino a regolarizzarsi, in entrambi i casi confrontati.

Un'ulteriore osservazione, deducibile dal grafico seguente, riguarda il confronto tra i gradi IT a parità di intervallo di misura: la geometria ottenuta adottando la maggiore definizione messa a disposizione dalla macchina presenta classi di tolleranza inferiori rispetto a quella più grossolana, come sarebbe stato lecito attendersi fin da subito.

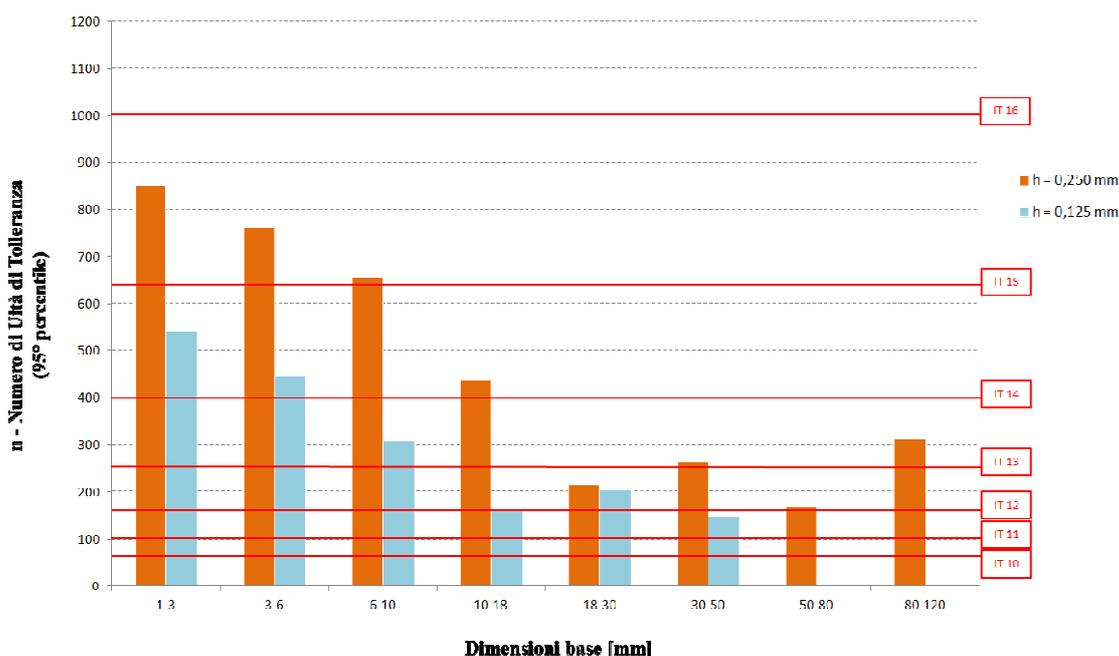


Figura 53 - Tendenze più significative, dal punto di vista statistico, per ciascuno spessore di strato

Capitolo 6 - Conclusioni

Con questa tesi si è inteso trattare lo studio del comportamento della stampante 3D Touch di marca Bits From Bytes (BFB) nella emulazione di una produzione generica e mista di pezzi di geometria diversa in acrilonitrile butadiene stirene (ABS). Lo scopo dell'attività ha, infatti, previsto l'analisi dell'accuratezza dimensionale e della ripetibilità nella produzione di parti caratterizzate da geometrie variabili e assimilabili a componenti reali.

Secondo le misurazioni raccolte, le performance della macchina hanno evidenziato come, per la maggior parte dei risultati, l'accuratezza dimensionale segua una tendenza crescente all'aumentare delle dimensioni di base ISO poiché si ottiene un grado IT inferiore, corrispondente a una maggiore precisione, in accordo con studi precedenti presenti in letteratura. Pertanto, è possibile affermare che il grado di accuratezza dimensionale ottenuto può considerarsi soddisfacente e costante in diversi casi, con riferimento particolare alla realizzazione di geometrie con dimensioni superiori a 30 mm [], come confermato da vari autori.

Inoltre, dal confronto tra le parti prodotte utilizzando spessori di strati differenti, è stato possibile evidenziare una similitudine nelle prestazioni.

Tuttavia, non è stato possibile affermare con precisione quali geometrie siano a capo dei peggioramenti della precisione e, quindi, comportino un calo delle performance della stampante poiché le geometrie prese in esame differiscono una dall'altra. Per individuare tali geometrie, infatti, sarebbe opportuno svolgere uno studio ripetuto

Come più volte sottolineato durante la trattazione, la numerosità delle misure raccolte non è risultata sufficiente ad evidenziare la significatività dei risultati riferiti a determinati intervalli di misura ISO; peraltro, non di rado, all'interno delle dispersioni considerate valide entro un limite di soglia del 95% sono contenuti valori di tolleranza particolarmente alti, tanto da condizionare negativamente la classificazione.

È possibile ipotizzare, a questo punto, che l'aumento della numerosità nelle misurazioni o la riduzione del limite di soglia, ad esempio fissato al 90%, possano essere due accorgimenti in grado di chiarire ulteriormente le potenzialità offerte dalla macchina.

Intervallo di misure ISO "10-18 mm"

Asse	Campione 1			Campione 2			Campione 3			Campione 4			Campione 5		
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
Y	234,600	241,065	227,211	245,683	250,301	243,836	176,411	185,648	170,870	241,065	245,683	229,981	251,225	258,614	257,690
Y	169,946	173,641	160,710	215,204	216,127	216,127	151,474	147,779	158,863	183,800	170,870	192,113	194,884	205,044	197,655
Z	37,868	45,257	36,021	114,529	116,376	116,376	56,341	60,959	56,341	66,501	67,424	62,806	74,813	75,737	72,042
Z	161,634	167,175	145,008	143,161	150,550	121,918	140,390	150,550	125,612	137,619	142,238	123,765	145,008	147,779	122,842
X	152,397	149,626	152,397	193,960	198,578	188,419	157,015	138,863	157,939	157,939	162,557	157,939	175,641	186,571	178,239
X	212,433	203,196	215,204	280,781	278,933	275,239	174,564	175,488	184,724	257,690	244,759	286,003	269,697	272,468	282,628
X	254,919	260,461	239,218	235,523	235,523	235,523	240,141	252,448	230,905	267,850	275,239	254,919	253,996	260,461	266,003
Y	190,266	193,037	172,717	205,044	201,349	207,815	215,204	214,280	218,898	210,585	200,426	217,051	197,655	206,891	205,967
Z	37,868	45,257	36,021	114,529	116,376	116,376	56,341	60,959	56,341	66,501	67,424	62,806	74,813	75,737	72,042
Z	161,634	167,175	145,008	143,161	150,550	121,918	140,390	150,550	125,612	137,619	142,238	123,765	145,008	147,779	122,842
Z	184,724	188,419	165,328	126,536	133,925	105,293	211,509	216,127	196,731	158,863	164,404	145,008	152,397	156,092	133,001
Z	31,403	36,945	30,479	111,758	113,605	112,682	49,875	53,570	48,952	69,272	69,272	66,501	72,966	74,813	71,119
Z	155,168	158,863	139,467	140,390	147,779	118,223	133,925	143,161	118,223	140,390	144,085	127,460	143,161	146,856	121,918
Y	146,548	150,888	123,457	177,951	180,722	164,712	173,641	140,698	205,044	160,402	164,712	149,626	140,082	157,015	116,684
Y	166,867	170,254	135,464	167,791	165,944	156,400	237,370	207,199	265,079	187,187	194,268	174,564	142,853	158,863	124,997
X	107,140	113,605	84,973	136,696	133,925	113,605	184,724	152,397	229,981	72,042	77,584	42,487	82,202	88,668	58,188
X	49,875	62,806	25,861	63,730	66,501	38,792	104,369	73,890	142,238	58,188	73,890	25,861	19,396	27,709	9,236
X	109,911	116,376	88,668	150,550	146,856	125,612	121,918	90,515	169,023	157,939	156,092	133,925	115,453	113,605	95,133
X	39,716	47,105	14,778	33,250	28,632	13,854	22,167	1,847	58,188	34,174	45,257	11,083	11,083	9,236	24,014
Y	59,727	51,107	86,820	179,182	177,027	185,340	114,221	161,018	87,436	132,386	123,765	157,323	130,538	125,920	148,087
Y	80,047	70,503	98,827	169,023	162,249	177,027	177,951	227,518	147,471	159,171	153,321	182,261	133,309	127,767	156,400
X	5,542	15,702	5,542	85,897	83,126	88,668	144,085	151,474	139,467	35,098	39,716	28,632	68,348	62,806	61,883
D	283,551	114,529	319,573	471,046	393,462	697,333	552,325	492,290	568,950	148,703	95,133	200,426	294,635	170,870	394,386
X	22,475	26,169	10,468	84,357	76,660	87,744	79,739	79,123	73,890	5,542	13,546	1,231	48,336	41,255	49,568
D	280,011	219,976	259,076	480,437	267,542	691,792	578,956	478,127	594,811	186,725	254,457	174,718	397,772	194,884	550,632

Intervallo di misure ISO "18-30 mm"

Asse	Campione 1			Campione 2			Campione 3			Campione 4			Campione 5		
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
X	117,793	110,909	117,028	135,386	133,091	135,386	61,956	71,900	61,191	110,909	110,909	100,201	118,558	123,912	135,386

Intervallo di misure ISO "30-50 mm"

Asse	Campione 1			Campione 2			Campione 3			Campione 4			Campione 5		
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
X	71,097	60,208	87,751	90,313	91,594	103,763	36,509	58,927	10,889	69,176	61,489	91,594	106,966	110,169	130,025

Allegato 2 - Analisi geometriche critiche, lotto 2

Asse	Intervallo di misure ISO "1-3 mm"													Elemento		
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1		5_R2	5_R3
X	1.844	5.533	11.067	73.780	55.335	75.624	95.914	119.892	84.847	132.804	129.115	156.782	11.067	12.911	12.911	12.911
X	20.289	1.844	55.335	99.603	95.914	101.447	71.935	68.246	83.002	59.024	42.423	64.557	236.095	225.028	226.873	226.873
X	42.423	75.624	12.911	3.689	7.378	27.667	7.378	3.689	23.978	92.225	119.892	71.935	86.691	86.691	86.691	86.691
Z	33.201	33.201	35.045	167.949	158.627	169.694	81.158	60.868	84.847	138.337	119.892	142.026	53.490	29.512	55.335	55.335
X	22.134	3.689	66.402	173.383	151.249	177.072	167.849	188.139	167.849	191.828	171.538	221.339	247.162	237.940	239.784	239.784
X	12.911	32.827	46.112	103.292	66.402	125.426	149.404	189.983	181.158	142.026	88.536	169.694	132.804	101.447	130.959	130.959
X	291.430	252.873	243.473	81.158	92.225	99.603	129.115	127.270	119.892	35.045	7.378	95.914	29.512	0.000	29.512	29.512
Y	71.935	40.579	47.957	145.715	147.560	95.914	101.447	142.026	36.890	105.136	143.871	66.402	166.005	169.694	123.581	123.581
Y	35.045	11.067	59.024	125.426	97.758	143.871	191.828	184.450	182.605	215.806	199.206	230.562	326.476	289.586	1189.700	1189.700
Y	36.890	51.666	11.067	20.289	49.801	47.957	90.380	42.423	145.715	110.670	55.335	160.160	160.160	141.892	1066.118	1066.118
Z	33.201	33.201	35.045	167.949	158.627	169.694	81.158	60.868	84.847	138.337	119.892	142.026	53.490	29.512	55.335	55.335
Z	38.734	35.045	40.579	201.050	191.828	204.739	77.469	59.024	84.847	138.337	119.892	142.026	47.957	47.957	51.646	51.646
X	184.450	143.871	171.538	289.586	285.897	256.385	173.383	202.895	132.804	182.605	119.892	226.873	359.677	341.232	335.698	335.698
X	73.780	86.691	77.469	47.957	49.801	55.335	40.579	27.667	25.823	101.447	101.447	88.536	71.935	59.024	60.868	60.868
Z	55.335	64.557	53.490	127.270	116.203	127.270	16.000	38.734	16.000	35.045	9.222	35.045	49.801	60.868	47.957	47.957
Z	36.890	35.045	35.045	222.723	252.696	198.744	141.565	222.723	82.080	42.885	114.359	8.300	461.124	511.847	414.089	414.089
X	28.129	88.075	0.922	222.723	252.696	198.744	141.565	222.723	82.080	42.885	114.359	8.300	461.124	511.847	414.089	414.089
X	29.973	93.608	11.989	296.503	308.031	274.369	237.479	342.615	166.927	175.688	243.473	148.482	472.191	524.759	427.001	427.001
X	69.630	12.450	94.992	145.254	147.560	128.654	137.876	101.366	100.525	52.107	77.469	4.611	320.942	349.532	260.996	260.996
X	82.541	13.373	141.104	41.962	81.158	3.228	11.528	110.209	89.458	89.919	11.067	165.082	188.139	248.085	130.037	130.037
X	7.839	89.919	54.413	123.120	158.762	97.927	69.630	54.476	0.922	16.139	71.935	72.858	225.028	286.819	187.216	187.216
X	71.474	17.676	102.369	202.433	230.562	189.522	374.279	273.446	454.668	19.828	74.395	85.154	322.787	380.273	271.448	271.448
X	130.498	62.559	146.023	39.503	79.928	22.288	49.648	44.422	115.281	25.362	54.720	54.413	198.591	252.388	170.001	170.001
X	51.185	84.386	21.212	262.379	287.741	210.734	195.978	316.792	134.048	129.576	193.672	84.847	386.422	446.368	351.376	351.376
X	95.453	18.906	164.160	39.916	112.514	7.839	46.574	122.198	16.000	33.662	52.568	99.603	253.618	327.398	167.649	167.649
X	23.517	114.820	27.667	213.500	243.473	196.900	189.522	255.001	176.149	101.908	171.538	62.713	361.521	426.078	304.342	304.342
Y	32.586	4.304	43.038	1.230	43.038	3.074	17.215	83.002	30.742	39.349	72.550	27.667	13.526	36.275	3.074	3.074
Y	39.349	36.275	4.919	146.945	190.598	92.840	84.232	59.024	67.632	65.787	71.320	38.734	179.531	205.969	126.655	126.655
Y	2.459	15.371	15.986	126.655	140.796	140.796	174.612	101.447	213.347	176.457	126.655	202.895	340.002	325.861	1192.774	1192.774
Y	14.449	37.197	7.993	90.688	79.928	94.684	69.476	44.268	95.299	14.141	3.382	54.413	152.786	155.245	153.401	153.401
Y	77.469	93.454	65.172	210.272	177.686	212.117	253.311	273.600	224.414	189.368	237.940	151.249	296.349	338.772	262.533	262.533
Y	33.201	15.371	15.986	14.756	24.593	20.289	0.615	25.208	17.830	72.550	38.734	81.158	81.773	26.438	111.899	111.899
Y	38.734	25.208	31.971	160.471	172.153	116.203	102.062	116.818	54.720	32.586	105.136	14.756	84.232	143.256	11.682	11.682
Y	1.844	26.438	43.038	140.182	122.352	164.160	192.442	159.241	200.435	143.256	160.471	149.404	244.703	263.148	1077.800	1077.800
Y	13.834	26.130	19.060	104.214	61.483	118.048	87.306	102.062	82.387	19.060	30.434	0.922	57.487	92.532	38.427	38.427
Y	23.978	21.827	13.219	168.771	113.129	193.672	138.952	94.684	182.912	102.677	130.959	76.547	307.416	338.772	254.233	254.233
X	99.603	105.751	103.292	20.289	22.134	9.222	515.844	496.169	536.748	62.713	39.964	76.854	138.337	131.574	142.641	142.641
X	101.447	111.285	114.359	94.069	77.469	84.847	611.758	616.061	621.595	195.517	169.079	233.656	149.404	144.485	155.552	155.552
X	1.844	30.127	7.378	57.179	83.002	60.868	512.155	464.813	555.193	71.935	3.074	89.765	1.844	30.742	10.452	10.452
X	11.067	4.304	38.734	160.471	149.404	186.294	362.751	383.655	365.210	70.091	85.462	79.928	134.648	132.189	141.411	141.411
X	79.313	107.596	47.957	79.313	73.780	92.225	443.909	427.923	453.746	3.689	2.459	12.297	97.758	93.454	84.232	84.232
X	59.024	44.883	43.653	162.930	150.634	167.234	324.631	317.868	339.387	5.533	19.675	30.742	124.196	127.885	101.447	101.447
X	122.659	102.062	123.581	59.946	57.179	21.212	570.257	590.239	589.316	149.404	119.277	170.001	63.635	66.094	79.928	79.928
X	23.978	1.230	61.791	163.238	118.048	181.683	420.852	395.644	438.068	13.834	21.827	14.449	69.169	52.876	103.599	103.599
X	94.992	132.496	74.702	11.067	12.911	7.378	563.801	528.448	630.817	121.737	97.143	147.867	38.734	45.805	32.894	32.894
X	158.627	150.634	146.945	183.220	172.768	176.457	191.213	178.301	197.361	68.246	59.639	46.112	262.533	259.459	244.088	244.088
X	160.471	156.167	148.012	257.000	228.103	252.081	287.126	298.193	282.208	201.050	188.753	202.895	273.600	272.370	257.000	257.000
X	60.868	75.009	51.031	105.751	67.632	106.366	187.524	146.945	215.806	77.469	22.749	59.024	122.352	97.143	90.995	90.995
X	47.957	49.187	4.919	2.459	19.060	38.120	38.120	65.787	25.823	64.557	65.787	110.670	10.452	4.304	39.964	39.964
X	138.337	152.478	91.610	83.617	76.854	70.091	119.277	110.055	114.359	9.222	17.215	18.445	26.438	34.431	17.215	17.215
X	181.683	146.945	167.234	222.877	207.813	188.446	245.625	272.370	249.929	154.938	138.952	139.259	187.831	193.979	181.375	181.375
X	35.045	43.653	18.138	0.307	33.586	14.449	96.221	77.776	98.681	8.300	2.152	45.190	55.027	75.009	2.152	2.152
X	154.015	177.379	118.359	173.997	163.545	174.612	239.170	210.580	291.430	127.270	116.818	117.125	162.990	173.690	134.341	134.341
X	47.035	41.501	35.045	89.458	36.890	97.758	86.691	127.270	64.557	53.490	69.169	82.080	139.259	118.970	150.336	150.336
Y	24.901	0.922	12.911	56.257	110.670	1.844	14.756	14.756	27.667	51.646	74.702	15.678	26.745	50.724	26.745	26.745
Y	11.989	52.568	23.978	35.968	60.868	46.112	105.136	57.179	118.048	162.316	130.037	148.482	187.216	170.616	1039.373	1039.373
Y	101.447	115.281	78.391	41.501	64.557	18.445	114.359	178.916	41.501	86.691	106.981	74.702	11.067	0.000	8.30	

Asse	Elemento	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
Y	Distance MEDIA PNT(19-23) vs PLN14	62,713	47,035	45,190	8,300	59,024	77,469	36,890	22,134	128,192	70,091	25,823	91,303	223,184	195,517	242,551
Y	Distance MEDIA PNT(19-23) vs PLN15	25,823	4,611	56,257	28,590	9,222	29,512	53,490	64,557	17,523	40,579	29,512	72,858	62,713	75,624	823,567
X	Location MEDIA PNT(20-24)	23,056	3,689	20,289	39,657	35,045	11,989	54,413	94,069	52,568	86,691	79,313	93,147	74,702	65,480	62,713
X	Distance MEDIA PNT(20-24) vs PLN3	21,212	9,222	20,289	34,123	20,289	63,635	41,501	25,823	32,279	46,112	49,801	63,635	85,769	78,391	75,624
X	Distance MEDIA PNT(20-24) vs PLN5	120,814	71,935	116,203	117,125	140,182	82,080	58,102	125,426	34,123	77,469	116,203	80,236	65,480	96,836	90,380
X	Distance MEDIA PNT(20-24) vs PLN8	133,726	97,758	162,316	220,417	206,583	207,506	207,506	206,583	224,106	219,495	204,739	249,929	198,283	198,283	221,339
X	Distance MEDIA PNT(20-24) vs PLN11	43,346	5,533	75,624	139,259	130,959	113,436	126,348	162,316	135,570	145,715	121,737	157,704	161,393	159,549	164,160
X	Distance MEDIA PNT(20-24) vs MEDIA PNT(21-25)	146,377	103,292	185,372	223,184	175,272	202,895	149,404	194,594	151,249	163,238	141,104	184,450	132,804	118,970	183,527
X	Distance MEDIA PNT(20-24) vs MEDIA PNT(30-31)	27,667	30,434	48,879	44,268	31,834	6,456	61,791	41,501	41,501	27,667	22,134	22,134	24,901	20,289	47,035
X	Distance MEDIA PNT(21-25) vs PLN5	25,823	31,356	69,169	106,058	35,045	120,814	91,303	69,169	117,125	85,769	24,901	104,214	67,324	22,134	93,147
X	Distance MEDIA PNT(21-25) vs PLN8	12,911	5,533	23,056	2,767	31,356	4,611	58,102	11,989	72,858	56,257	63,635	65,480	65,480	79,313	37,812
X	Distance MEDIA PNT(21-25) vs MEDIA PNT(30-31)	118,970	133,726	136,493	174,305	130,959	189,061	142,948	132,804	192,750	135,570	118,970	162,316	107,903	98,681	136,493
X	Dimension Location (CY1)	84,847	90,380	64,557	139,672	293,275	88,536	300,653	158,627	250,851	271,141	3,689	703,042	820,800	723,042	1023,695
X	Dimension Location (CY2)	77,141	247,162	88,774	468,502	363,366	608,684	267,452	258,229	263,763	767,310	723,042	743,332	542,282	442,679	638,195
X	Location MEDIA CIR(4-5-6-7)	198,744	206,583	141,104	433,918	365,671	523,837	23,056	63,174	129,576	248,085	128,192	294,658	634,045	504,470	660,790
X	Location MEDIA CIR(1-2-3)	172,153	153,708	207,813	368,284	365,825	379,351	252,081	214,576	278,519	411,937	397,181	430,382	446,368	379,351	514,614

Intervallo di misure ISO "3-6 mm"

Asse	Elemento	Campione 1			Campione 2			Campione 3			Campione 4			Campione 5		
		1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
Y	Dimension Location (PLN10)	38,213	28,660	55,955	69,602	77,791	61,414	4,094	16,377	17,742	4,094	10,918	20,471	31,389	20,471	28,660
Y	Distance PLN10-PLN12	69,602	84,615	65,908	66,873	83,250	40,943	9,553	13,648	0,000	72,332	99,627	32,754	32,754	43,672	34,119
Z	Distance PLN2-PLN4	95,533	98,262	91,438	191,065	177,418	192,340	4,094	30,025	10,918	88,709	72,332	106,451	105,086	91,438	91,438
Z	Distance PLN4-PLN6	166,500	151,487	177,418	24,566	16,377	28,660	75,061	66,873	87,344	80,520	77,791	94,168	81,885	77,791	80,520
Z	Dimension Location (PNT34)	24,566	24,566	20,471	133,746	133,746	137,840	94,168	94,168	92,803	68,238	75,061	68,238	118,733	118,733	128,287
Y	Distance MEDIA PNT(6-10-14) vs PLN7	57,774	77,336	28,205	145,573	145,119	139,660	174,233	159,676	175,598	164,680	151,032	151,487	289,782	297,061	279,319
Y	Distance MEDIA PNT(6-10-14) vs MEDIA PNT(7-11-15)	0,455	8,189	20,016	10,008	13,648	17,287	13,193	42,762	9,553	24,566	25,020	39,578	70,512	46,402	85,069
Y	Distance MEDIA PNT(7-11-15) vs PLN10	158,311	169,684	131,926	215,631	199,709	230,643	282,958	296,606	254,754	166,045	181,512	182,877	241,106	250,659	216,086
Y	Distance MEDIA PNT(8-22) vs PLN7	47,084	49,813	34,119	78,473	85,979	69,602	122,828	126,922	105,086	154,217	153,535	111,227	176,735	182,194	165,147
Y	Dimension 2d Distance (PNT6;PNT7)	62,779	116,004	42,307	114,639	107,815	95,533	43,672	75,061	39,578	58,684	147,393	10,918	53,225	30,025	96,897
Y	Dimension 2d Distance (PNT10;PNT11)	69,602	68,238	103,721	55,955	83,250	62,779	58,684	124,192	40,943	47,766	24,566	120,098	28,660	6,824	21,836
Y	Dimension 2d Distance (PNT14;PNT15)	8,189	23,201	1,365	27,295	64,143	20,471	62,779	70,967	27,295	83,250	96,897	10,918	129,651	100,992	136,475
X	Dimension 2d Distance (PNT8;PNT9)	248,385	255,208	256,573	270,221	296,151	296,151	4,094	13,648	16,377	155,582	203,348	100,992	252,479	255,208	242,926
X	Dimension 2d Distance (PNT12;PNT13)	2,730	28,660	27,295	121,463	76,426	113,274	90,074	65,508	107,815	38,213	6,824	40,943	177,418	146,028	143,299
X	Dimension 2d Distance (PNT16;PNT17)	120,098	126,922	131,016	28,660	36,848	39,578	62,779	63,716	630,315	103,721	152,852	126,922	154,217	117,369	162,405
Y	Dimension 2d Distance (PNT26;PNT27)	126,922	245,655	13,648	70,967	50,496	73,697	124,192	34,119	140,569	99,627	95,533	169,224	156,946	148,758	137,840
Y	Dimension Location (CY1)	70,967	25,930	23,640	428,532	449,003	468,110	107,815	84,615	222,454	365,753	352,106	443,520	413,520	395,778	491,310
D	Dimension Location (CY2)	608,679	599,126	646,892	706,941	690,564	735,601	686,470	656,445	723,318	934,855	919,842	951,232	768,355	735,601	803,838
Z	Location MEDIA CIR(1-2-3)	97,352	95,987	95,533	315,258	314,803	336,184	303,430	309,344	300,245	349,376	302,065	382,130	303,885	303,885	317,987
D	Location MEDIA CIR(1-2-3)	630,970	615,048	617,777	647,802	680,556	671,912	711,035	680,556	712,400	943,953	890,273	988,518	691,019	662,814	718,769

Intervallo di misure ISO "6-10 mm"

Asse	Elemento	Campione 1			Campione 2			Campione 3			Campione 4			Campione 5		
		1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
Y	Dimension Location (PLN7)	207,100	218,234	182,625	105,777	119,138	110,231	74,601	93,466	86,848	24,496	13,361	41,197	7,794	16,702	5,567
Z	Dimension Location (PLN4)	155,882	143,634	165,903	121,365	109,117	125,819	110,231	91,302	122,478	149,201	135,840	162,562	99,096	81,281	99,096
Z	Distance PLN7-PLN12	232,709	263,885	200,419	118,025	123,592	93,529	70,147	65,693	72,374	80,168	85,735	84,621	44,538	35,630	45,651
Y	Distance PLN7-PLN13	66,806	65,693	48,991	118,025	92,416	115,798	152,541	180,377	124,705	158,109	167,016	104,294	228,255	220,461	226,028
Y	Distance PLN7-PLN14	23,382	41,197	20,042	30,063	3,340	57,899	91,302	94,642	102,437	94,642	80,168	100,210	128,046	118,025	151,428
Y	Distance PLN7-PLN15	45,651	72,374	13,361	42,311	33,403	28,949	36,744	69,033	14,475	27,886	46,765	1,113	31,176	45,651	482,141
Z	Distance PLN1-PLN4	155,882	143,634	165,903	121,365	109,117	125,819	110,231	91,302	122,478	149,201	135,840	162,562	99,096	81,281	99,096
Z	Distance PLN2-PLN6	57,899	43,424	70,147	135,840	131,386	133,613	64,580	79,054	62,353	6,681	4,454	10,021	18,928	11,134	8,908
Y	Distance PLN4-PLN9	159,222	144,747	169,243	141,407	129,159	146,974	108,004	90,189	122,478	146,974	134,726	163,676	95,756	76,827	96,869
Y	Dimension Location (PNT27)	138,067	106,890	197,079	103,550	119,138	104,663	84,621	125,819	70,147	22,269	25,609	0,000	47,878	30,063	62,353
Y	Distance MEDIA PNT(6-10-14) vs PLN10	128,788	131,757	123,963	167,758	174,068	174,068	220,090	207,100	215,696	155,511	127,675	181,491	254,236	242,359	245,699
Y	Distance MEDIA PNT(6-10-14) vs MEDIA PNT(19-23)	14,104	6,495	24,310	93,715	79,425	102,808	73,116	22,269	118,210	82,023	58,641	78,498	243,101	242,359	222,874
Y	Location MEDIA PNT(7-11-15)	160,335	161,820	153,284	232,709	226,400	238,276	227,513	228,626	222,317	138,809	156,995	132,499	171,099	187,800	152,913
Y	Distance MEDIA PNT(7-11-15) vs PLN12	185,945	207,471	161,078	230,482	230,853	221,575	223,059	230,853	207,842	194,481	229,367	175,924	223,430	240,132	204,131
Y	Distance MEDIA PNT(8-22) vs PLN10	137,510	154,212	119,138	113,014	125,819	116,911	178,150	180,377	158,109	146,974	129,716	148,644	162,006	148,644	153,098
Y	Distance MEDIA PNT(8-22) vs MEDIA PNT(19-23)	22,826	28,949	19,485	38,970	31,176	45,651	31,176	4,454	60,683	73,487	60,683	45,651	150,871	148,644	130,273
Y	Location MEDIA PNT(19-23)	145,861	148,644	145,304	130,829	158,109	121,365	143,634								

	1_1_R1	1_1_R2	1_1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
Y	171,470	194,295	153,098	128,602	162,562	104,663	139,180	173,697	97,426	132,499	150,314	129,716	37,857	35,630	50,662
X	74,601	64,580	99,653	110,787	84,621	115,241	57,342	60,683	59,569	46,208	37,300	55,115	125,262	111,344	148,644
X	75,714	67,920	106,334	155,325	118,025	160,892	115,241	133,056	110,787	126,376	115,241	149,758	131,943	119,138	156,438
X	62,353	65,693	66,250	50,662	26,723	54,002	13,918	19,485	9,464	10,578	11,691	16,145	17,258	24,496	11,691
Y	81,281	101,323	47,878	30,063	31,176	47,878	124,705	44,538	158,109	163,676	118,025	136,953	167,016	155,882	175,924
X	35,630	44,538	8,908	46,765	31,176	43,424	62,353	53,445	36,744	15,988	3,340	47,878	134,726	141,407	83,508
Y	64,580	21,155	118,025	105,777	76,827	90,189	20,042	62,353	3,340	55,672	27,836	50,105	36,744	2,227	89,075
X	112,457	103,550	104,663	163,676	134,726	154,768	159,222	171,470	177,037	141,407	141,407	171,470	122,478	142,520	131,386
X	62,353	86,848	52,332	55,672	14,475	96,869	14,475	34,517	32,290	53,445	33,403	74,601	129,159	87,962	115,798

Intervallo di misure ISO "10-18 mm"

Asse	Campione 1			Campione 2			Campione 3			Campione 4			Campione 5		
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
X	48,952	37,868	48,028	38,792	52,646	35,098	1,847	15,702	9,236	4,618	18,472	6,465	70,195	81,279	76,660
X	55,417	50,799	71,119	90,515	85,897	97,904	76,660	56,341	85,897	66,501	62,806	78,508	136,696	132,078	142,238
Y	116,376	126,536	119,147	185,648	175,488	187,495	188,419	202,273	175,488	151,474	149,626	150,550	182,877	169,023	182,877
Y	152,397	146,856	143,161	112,882	101,598	139,467	137,619	131,154	157,015	98,827	117,300	117,300	99,571	84,049	120,994
Z	64,653	52,646	148,703	122,842	126,536	115,453	92,362	109,911	84,049	43,410	49,875	35,098	19,396	24,014	412,858
X	49,875	40,639	53,570	75,737	80,355	72,966	94,209	96,057	94,209	63,730	63,730	62,806	11,083	5,542	20,320
X	56,341	53,570	76,660	127,460	113,605	135,772	124,689	116,376	128,383	133,001	127,460	157,015	142,238	138,543	148,703
X	38,792	38,792	20,320	11,083	4,618	15,702	34,174	18,472	50,799	34,174	2,771	38,792	48,028	31,403	36,945
X	45,257	51,723	43,410	40,639	37,868	47,105	40,639	22,167	44,334	36,945	41,563	46,181	18,472	19,396	28,632
Y	90,515	107,140	81,279	138,543	122,842	145,932	191,189	213,356	163,481	148,703	142,238	164,404	204,120	182,877	202,273
Y	126,536	127,460	105,293	65,577	48,952	97,904	140,390	142,238	145,088	96,057	70,195	131,154	120,994	97,904	140,390
Y	108,064	101,598	110,834	75,737	75,890	73,890	95,133	120,994	72,042	40,639	42,487	48,952	40,639	37,868	393,462
Y	137,619	164,404	125,612	183,800	179,182	173,641	184,724	204,120	163,481	197,655	209,662	186,571	226,287	212,433	225,363
Y	173,641	184,724	149,626	110,834	105,293	125,612	133,001	133,001	145,088	145,088	137,619	153,321	143,161	127,460	163,481
Y	155,168	158,863	155,168	120,994	130,230	101,598	88,668	111,758	72,042	89,591	109,911	71,119	62,806	67,424	370,372
Z	64,653	52,646	75,737	28,632	29,556	25,861	94,209	96,057	94,209	63,730	63,730	62,806	11,083	5,542	20,320
Z	67,424	53,570	78,508	12,007	12,931	8,313	92,362	95,133	94,209	61,883	62,806	63,730	8,313	1,847	18,472
Y	199,502	254,919	172,717	134,849	133,001	136,696	153,321	126,536	154,245	85,897	85,897	114,529	67,424	75,737	41,563
X	23,091	25,861	22,167	48,952	35,098	65,577	15,702	18,472	4,618	6,465	12,931	13,854	114,529	86,820	121,918
X	84,973	95,751	86,820	99,751	66,501	133,925	80,355	37,868	116,376	111,758	76,660	120,071	174,564	116,376	205,044
Y	132,693	128,691	140,698	186,263	197,039	185,956	179,798	160,710	190,882	131,770	113,297	136,696	189,650	187,187	184,416
Y	153,937	166,560	147,164	184,416	200,733	172,101	176,104	162,557	178,874	177,951	173,333	172,717	233,060	230,597	226,903
Y	139,928	147,317	136,696	140,852	157,015	138,543	145,008	138,543	143,161	124,689	114,991	109,449	113,143	109,449	107,602
X	161,172	185,186	143,161	139,005	160,710	124,689	141,314	140,390	131,154	170,870	175,026	145,470	156,554	152,859	150,088
X	46,643	51,261	33,712	34,174	48,028	34,174	25,861	31,865	37,868	24,938	47,105	29,094	20,320	38,330	21,705
X	53,108	64,192	56,803	85,897	81,279	96,980	100,675	72,504	133,001	96,057	91,438	114,067	86,820	89,129	87,282
X	52,646	14,778	51,723	32,327	22,167	40,639	19,396	16,625	16,625	13,854	27,709	49,875	76,660	104,369	59,112
Z	151,474	100,675	174,564	21,243	44,334	52,646	34,174	64,653	43,410	72,042	12,007	204,120	215,204	195,808	309,413
D	101,598	22,167	130,230	331,580	437,796	88,668	92,362	26,785	34,174	241,989	57,264	602,200	531,082	461,810	798,008
Z	323,729	338,045	272,930	197,886	158,170	251,456	117,992	54,955	176,873	201,118	154,475	219,822	178,259	109,911	204,871
D	508,222	530,389	399,004	673,781	596,659	799,162	180,799	55,648	322,343	392,770	271,313	447,494	450,034	269,928	513,533

Intervallo di misure ISO "18-30 mm"

Asse	Campione 1			Campione 2			Campione 3			Campione 4			Campione 5		
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
X	23,712	38,245	17,593	2,295	18,357	12,238	22,947	39,774	26,006	41,304	33,655	29,438	6,119	11,473	21,417
X	1,912	11,091	11,856	3,824	3,824	0,765	19,887	13,386	39,009	24,477	23,712	29,448	41,304	35,567	45,511
X	2,677	8,796	16,445	34,420	26,771	32,125	19,887	36,332	3,824	30,596	29,811	35,567	45,893	40,922	50,865
X	6,502	10,326	11,091	37,480	35,950	41,304	49,718	41,687	73,430	48,953	41,304	56,220	56,602	57,749	48,571
X	29,066	29,831	30,596	6,119	53,542	28,301	18,357	84,903	36,715	19,122	19,887	49,718	54,307	130,032	0,765

Intervallo di misure ISO "30-50 mm"

Asse	Campione 1			Campione 2			Campione 3			Campione 4			Campione 5		
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
X	71,097	7,686	116,574	65,973	81,345	64,052	8,327	57,006	11,529	101,201	28,823	117,855	118,495	130,665	106,966
X	43,555	64,692	39,071	83,267	89,032	80,705	77,502	95,437	83,508	86,470	96,077	69,816	107,607	140,273	92,234

Asse	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
Y	7.378	40.579	77.469	25.823	62.713	51.646	57.179	27.667	103.292	130.959	178.916	140.182	20.289	71.935	88.536
X	593.928	549.660	582.861	311.720	363.366	381.811	562.571	538.593	621.595	507.236	542.282	503.547	509.081	534.904	466.657
Z	189.983	156.782	189.983	49.801	156.782	35.045	88.536	23.978	261.918	260.074	261.918	263.763	22.134	38.734	5.533
Y	669.552	603.150	745.176	549.660	577.327	498.014	632.662	525.681	651.107	636.351	632.662	658.485	614.217	538.593	606.839
X	191.828	68.246	276.674	16.600	35.045	38.734	62.713	60.866	92.225	269.296	289.586	302.497	49.801	18.445	75.624
Z	421.775	477.724	406.404	309.875	475.265	313.564	376.892	325.861	370.129	421.775	438.258	440.834	355.373	360.291	328.935
X	140.182	76.854	161.701	20.739	20.904	23.670	264.378	330.168	31.356	31.356	53.490	28.282	279.748	269.911	299.423
Z	631.432	614.217	565.645	454.361	545.971	531.830	684.308	707.671	642.499	616.061	605.609	664.633	527.526	506.007	611.758
Y	229.947	194.902	174.612	43.038	114.974	123.581	177.072	211.502	143.871	362.751	351.684	366.440	76.239	85.462	158.012

Intervallo di misura ISO "3-6 mm"

Asse	Campione 1			Campione 2			Campione 3			Campione 4			Campione 5		
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
Y	5.459	12.283	10.918	21.836	20.471	19.107	19.107	12.283	13.648	13.648	20.471	9.553	30.025	28.660	27.295
Z	85.979	83.250	81.885	150.123	155.582	165.135	154.217	154.217	161.041	75.061	64.143	70.967	70.967	73.697	83.250
Z	481.757	472.204	481.757	193.795	199.254	196.524	528.159	515.876	169.229	251.114	255.208	252.479	87.344	94.168	92.803
Z	360.294	358.950	357.565	34.119	38.213	40.943	144.664	146.028	144.664	409.425	406.696	405.331	81.885	81.885	76.426
Z	653.716	641.433	655.081	354.835	350.741	354.835	94.168	85.979	100.992	918.478	907.560	922.572	549.995	544.536	549.995
Z	964.879	958.055	966.244	304.340	301.610	300.245	38.213	35.484	39.578	1063.141	1057.682	1067.235	507.687	502.228	504.958
X	91.438	90.074	94.168	124.192	158.311	103.721	57.320	73.697	40.943	139.205	151.487	139.205	135.110	162.405	122.828
X	12.283	20.471	4.094	23.201	20.471	36.848	42.307	46.402	49.943	9.553	38.213	10.918	2.730	5.459	16.377
X	17.742	12.283	9.553	61.414	60.049	69.602	9.553	1.365	15.012	66.873	45.037	39.578	6.824	15.012	25.930
X	178.782	166.500	171.959	107.815	92.803	106.451	53.225	24.566	76.426	214.266	201.983	210.172	105.086	107.815	117.369
X	49.131	39.578	43.672	16.377	21.836	17.742	9.553	20.471	16.377	24.566	10.918	36.848	25.930	25.930	19.107
X	9.553	12.283	17.742	30.025	16.377	6.824	49.131	43.672	39.578	54.590	20.471	50.496	24.566	2.730	42.307
X	20.471	19.107	31.389	10.918	21.836	13.648	17.742	12.283	13.648	19.107	20.471	15.012	31.389	28.660	2.730
X	334.364	339.823	326.176	15.012	21.836	13.648	111.910	126.922	110.545	365.753	339.823	365.753	39.578	46.402	57.320
Y	212.901	201.983	202.618	30.025	23.201	20.471	5.459	12.283	13.648	126.922	102.356	131.016	1.365	5.459	2.730
Y	111.536	200.618	216.995	27.295	25.930	2.730	47.766	38.213	47.766	64.143	81.885	58.684	4.094	1.365	20.471
Y	279.774	270.221	293.421	62.779	46.402	31.389	159.676	154.217	144.664	309.799	313.893	312.528	2.730	0.000	4.094
Y	270.221	287.962	278.409	32.754	4.094	30.025	171.959	188.336	158.311	233.372	253.840	271.090	135.110	116.004	140.569
Y	122.828	128.287	124.192	46.402	36.848	45.037	121.463	128.287	117.369	278.409	259.303	275.680	45.037	38.213	64.143
Y	1.365	9.553	1.365	8.189	1.365	6.824	4.094	10.918	6.824	39.578	21.836	40.943	4.094	2.730	9.553
Y	13.648	32.754	25.930	8.189	13.648	10.918	9.553	2.730	4.094	2.730	13.648	10.918	9.553	8.189	10.918
Y	106.451	122.828	113.274	40.943	39.578	38.213	110.545	109.180	110.545	144.664	146.028	133.746	155.582	156.946	151.487
Y	54.590	58.684	47.766	10.918	16.377	16.377	9.553	12.283	20.471	32.754	27.295	21.836	47.766	36.848	47.766
Y	66.873	79.156	77.791	34.119	28.660	17.742	107.815	126.922	103.721	206.077	210.172	212.901	2.730	4.094	6.824
Z	85.979	83.250	81.885	150.123	155.582	165.135	154.217	154.217	161.041	75.061	64.143	70.967	70.967	73.697	83.250
Z	481.757	472.204	481.757	193.795	199.254	196.524	528.159	515.876	169.229	251.114	255.208	252.479	87.344	94.168	92.803
Z	360.294	358.950	357.565	34.119	38.213	40.943	144.664	146.028	144.664	409.425	406.696	405.331	81.885	81.885	76.426
Z	653.716	641.433	655.081	354.835	350.741	354.835	94.168	85.979	100.992	918.478	907.560	922.572	549.995	544.536	549.995
Z	964.879	958.055	966.244	304.340	301.610	300.245	38.213	35.484	39.578	1063.141	1057.682	1067.235	507.687	502.228	504.958
Z	454.462	454.462	454.462	745.154	750.613	757.437	264.762	266.126	271.585	229.278	240.196	233.372	408.061	409.425	414.155
Z	693.294	696.023	694.658	559.548	562.277	569.101	278.409	282.503	278.409	354.835	358.930	353.471	308.434	309.799	313.893
Z	76.426	73.697	77.791	152.852	161.041	156.946	144.664	147.393	147.393	60.049	43.672	65.508	75.061	77.791	73.697
Z	248.385	252.479	240.196	283.868	283.868	267.491	328.905	328.905	326.176	413.520	406.696	408.061	413.520	414.884	406.696
Z	58.684	65.508	54.590	788.826	794.285	788.826	638.704	627.786	279.774	53.225	49.131	51.861	424.438	429.897	421.708
Z	297.516	307.069	294.786	603.220	605.950	600.490	652.351	644.163	285.598	178.782	167.864	171.959	324.811	330.270	323.446
Z	472.204	462.651	477.663	196.524	204.713	188.336	518.605	506.323	155.582	236.102	234.737	247.020	91.438	98.262	83.250
Z	644.163	641.433	640.068	240.196	240.196	236.102	45.037	32.754	31.987	589.572	597.761	589.572	397.143	394.413	397.143
Z	180.147	178.782	178.782	629.150	633.245	633.245	255.208	255.208	255.208	105.086	102.356	100.992	255.208	253.844	252.479
Z	418.979	420.343	418.979	443.544	444.909	444.909	268.856	274.315	265.032	20.471	16.377	19.107	155.582	154.217	154.217
Z	350.741	349.376	353.471	36.848	43.672	32.754	135.110	136.475	131.016	394.413	386.225	399.872	77.791	77.791	85.979
Z	522.700	528.159	515.876	399.872	401.237	391.684	338.458	337.094	342.553	747.884	749.248	742.425	566.372	570.466	566.372
Z	113.274	103.721	118.733	240.196	244.290	237.467	16.377	25.930	9.553	614.138	603.220	618.232	212.901	208.807	221.090
Z	125.572	137.840	121.463	54.590	55.955	49.131	30.025	16.377	16.377	488.581	484.487	498.134	312.528	308.434	319.352
Z	644.163	631.880	650.986	352.106	345.282	363.024	103.721	95.533	114.639	903.465	887.088	917.113	545.900	540.441	559.548
Z	816.121	810.662	813.392	788.826	790.191	787.461	577.290	569.101	588.208	1256.936	1250.112	1259.665	1034.481	1033.117	1039.940
Z	424.438	420.343	429.897	290.692	293.421	292.057	72.332	76.426	70.967	758.802	753.343	762.896	170.594	166.500	176.053
Z	185.606	178.782	189.700	105.086	105.086	103.721	85.979	92.803	77.791	633.245	634.609	642.798	270.221	266.126	274.315
Z	955.326	948.502	962.150	301.610	296.151	308.434	47.766	45.037	53.225	1048.129	1037.211	1061.776	503.593	498.134	514.511
Z	1127.284	1127.284	1124.555	738.330	741.060	732.871	521.335	518.605	526.794	1401.599	1400.235	1404.329	992.174	990.809	994.904

Intervallo di misure ISO "6-10 mm"

Asse	Campione 1										Campione 2				Campione 3				Campione 4				Campione 5						
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2
Z	594,577	593,464	597,918	334,032	335,146	329,578	73,487	72,374	73,487	781,635	778,295	782,749	505,502	499,935	499,935														
Z	153,655	152,541	153,655	237,163	240,503	227,142	110,231	110,231	112,457	346,280	346,280	377,372	371,889	362,982	369,662														
Z	224,915	221,575	227,142	187,058	184,831	180,377	125,819	126,932	125,819	251,638	247,184	241,617	252,751	243,843	238,276														
Z	301,742	298,402	299,516	611,279	607,939	603,485	37,857	36,744	37,857	340,713	337,372	338,486	456,511	452,057	454,284														
Z	153,655	154,768	160,335	151,428	150,314	153,655	163,676	163,676	163,676	533,338	529,998	534,451	230,482	226,028	231,596														
Z	41,197	42,311	42,311	0,000	3,340	0,000	174,810	177,037	169,243	430,902	433,128	436,469	311,763	307,310	311,763														
Z	586,783	585,670	594,577	331,805	330,692	336,259	65,693	64,580	62,353	769,387	761,593	778,295	502,162	496,595	507,729														
Z	727,077	731,530	727,077	688,106	693,673	682,539	320,671	321,784	324,011	1057,769	1057,769	1057,769	900,773	898,547	899,660														
Z	287,268	286,154	283,927	248,297	244,957	256,091	200,419	201,533	200,646	97,983	97,983	89,075	96,869	89,075	101,323														
Z	482,120	483,233	479,893	96,869	91,302	102,437	111,554	110,894	208,213	4,454	1,113	8,908	178,150	170,356	181,491														
Z	145,861	144,747	150,314	234,936	236,049	233,823	102,437	103,323	101,323	334,032	329,578	332,192	368,549	359,641	377,456														
Z	286,154	290,608	282,814	591,237	599,031	580,103	283,927	283,927	285,041	622,413	625,754	612,392	767,161	761,593	769,387														
Z	216,007	217,121	210,440	298,402	300,629	302,856	216,007	218,234	216,007	3,340	1,113	6,681	22,269	30,063	30,063														
Z	410,860	414,200	406,406	146,974	146,974	149,201	227,142	231,596	221,575	99,096	97,983	104,663	59,012	51,218	50,105														
Z	217,121	213,781	223,802	184,831	180,377	187,058	118,025	119,138	114,684	239,390	230,482	237,163	249,411	240,503	246,070														
Z	357,414	359,641	356,301	541,132	543,359	533,338	268,339	267,226	271,680	527,771	526,657	516,636	648,022	642,455	638,001														
Z	139,180	140,294	138,067	125,819	122,478	120,252	128,046	128,046	128,046	92,416	89,075	90,189	181,491	178,150	185,945														
Z	334,032	337,372	334,032	277,247	276,133	273,906	139,180	141,407	133,613	10,021	7,794	7,794	262,772	259,432	266,112														
Z	293,948	290,608	296,175	609,052	603,485	610,165	30,063	28,949	26,723	328,465	320,671	334,032	453,170	448,717	462,078														
Z	434,242	436,469	428,675	965,353	966,466	956,445	356,301	357,414	359,641	616,846	616,846	613,506	851,782	850,669	854,009														

Intervallo di misure ISO "10-18 mm"

Asse	Campione 1										Campione 2				Campione 3				Campione 4				Campione 5						
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2
Y	328,809	339,892	324,191	133,925	140,330	143,161	198,578	207,815	197,655	273,392	266,926	268,774	153,321	157,015	159,786														
Y	328,809	332,503	334,351	173,641	168,099	166,252	237,370	234,600	234,600	257,690	267,850	247,530	154,245	150,550	150,550														
Y	80,355	84,973	84,973	146,932	128,383	154,245	6,465	5,542	15,702	132,078	134,849	128,383	217,974	204,120	216,127														
Y	1,847	8,313	0,000	176,411	158,863	177,335	85,897	88,668	99,751	29,556	25,861	30,479	245,683	231,829	253,072														
Y	102,522	109,911	103,445	123,765	125,612	133,925	122,842	121,918	122,842	25,861	36,945	21,243	126,536	125,612	120,994														
Y	184,724	203,196	188,419	154,245	156,092	157,015	202,273	216,127	206,891	187,495	197,655	180,106	154,245	153,321	157,939														
Z	435,025	435,949	440,567	378,684	383,302	385,150	43,410	44,334	48,028	597,582	602,200	601,277	467,352	464,581	471,046														
Z	69,272	70,195	72,042	298,329	304,795	300,177	12,931	12,931	15,702	236,447	243,836	231,829	356,517	350,976	362,983														
Z	128,383	127,460	133,001	256,766	258,614	261,385	0,000	0,924	4,618	157,939	161,634	152,397	257,690	252,148	253,996														
Z	192,113	191,189	193,037	608,666	609,589	612,360	72,966	73,890	77,584	231,829	236,447	232,752	426,713	424,865	433,178														
Z	167,175	172,717	169,946	408,240	412,858	406,393	296,482	289,093	53,570	478,435	472,894	478,435	478,435	478,435	477,512														
Z	198,578	193,037	198,578	327,885	334,351	321,420	266,003	257,690	21,243	117,300	114,529	108,987	367,601	364,830	369,448														
Z	139,467	135,772	137,619	286,322	288,170	282,628	253,072	243,836	10,160	38,792	32,327	29,556	268,774	266,003	260,461														
Z	75,737	72,042	77,584	638,222	639,145	633,604	326,038	318,649	83,126	112,682	107,140	109,911	437,796	438,720	439,643														
Z	249,377	249,377	253,996	300,177	303,871	301,100	36,945	38,792	36,945	371,295	370,372	374,990	363,906	359,288	362,983														
Z	116,376	116,376	114,529	219,822	225,363	216,127	6,465	7,389	4,618	10,160	12,007	5,542	253,072	255,683	254,919														
Z	57,264	59,112	53,570	178,259	179,182	177,335	6,465	6,465	6,465	68,348	70,195	73,890	154,245	146,856	145,932														
Z	6,465	4,618	6,465	530,158	530,158	528,311	66,501	68,348	66,501	5,542	4,618	6,465	323,267	319,573	325,114														
Z	50,799	58,188	52,646	36,945	40,639	33,250	124,689	118,223	129,307	26,785	31,403	24,938	47,105	46,181	42,487														
Z	314,955	307,566	315,878	43,410	37,868	51,723	155,168	149,626	161,634	334,351	326,962	344,510	63,730	67,424	65,577														
Z	255,843	250,301	254,919	84,973	84,049	90,515	168,099	163,481	172,717	412,858	409,164	423,942	162,557	166,252	174,564														
Z	192,113	186,571	194,884	266,926	266,926	260,461	95,133	88,668	99,751	338,969	334,351	343,587	6,465	6,465	4,618														
Z	159,786	156,092	157,939	71,119	73,890	70,195	86,820	84,049	87,744	71,119	70,195	72,966	75,737	74,813	72,966														
Z	525,540	521,845	526,464	9,236	4,618	14,778	117,300	115,453	120,071	432,254	428,560	442,414	35,098	38,792	35,098														
Z	466,428	464,581	465,505	507,799	507,799	535,700	130,230	129,307	131,154	510,762	510,762	521,845	133,925	137,619	144,085														
Z	402,698	400,851	405,469	301,100	300,177	297,406	57,264	54,994	55,188	436,872	435,949	441,491	35,098	35,098	35,098														
Z	302,024	308,489	278,933	103,445	118,223	95,133	188,419	205,004	181,962	206,891	216,127	190,266	49,875	36,021	61,883														
D	260,461	265,079	244,759	239,676	241,065	202,273	198,578	230,905	175,488	194,884	243,161	143,161	192,113	164,404	211,509														
Y	44,334	64,653	37,868	17,549	26,785	22,167	120,994	120,994	116,376	97,904	71,119	101,598	60,959	58,188	47,105														
D	171,793	191,189	186,571	164,404	174,564	145,932	148,703	150,550	152,612	157,939	114,529	149,626	130,230	132,078	155,168														
D	286,784	276,162	295,097	36,021	43,872	47,566	170,408	157,477	176,411	221,207	193,498	230,905	21,705	17,549	7,851														
D	209,200	218,898	226,121	161,172	187,495	139,005	206,429	174,564	207,353	144,547	144,547	174,564	198,117	209,200	125,151														
D	94,209	84,825	86,205	44,642	60,651	11,083	109,603	119,147	120,379	79,431	93,286	94,517	45,873	32,635	48,028														
D	176,411	197,039	162,557	185,340	214,588	137,312	137,312	157,015	136,388	72,350	90,207	108,064	127,460	149,626	127,152														

Intervallo di misure ISO "18-30 mm"

Camplone 5

Asse	Elemento	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
Y	Dimension Location (PLN9)	269,242	274,596	262,358	123,148	127,737	129,267	175,160	178,985	171,336	218,759	209,580	217,229	143,800	146,094	147,624
Y	Dimension Location (PLN9)	269,242	268,477	270,772	156,038	150,684	148,389	207,286	201,166	201,931	205,756	210,345	199,637	144,564	140,740	139,975
Y	Dimension Location (PLN19)	150,684	156,038	149,154	140,740	136,151	146,859	180,514	179,749	175,160	169,806	164,542	166,746	146,859	141,505	151,448
Y	Dimension Location (PLN22)	112,439	117,028	106,320	120,853	124,677	130,796	117,793	114,734	120,853	32,125	34,420	24,477	146,094	140,740	142,270
Y	Dimension Location (PLN25)	81,683	84,138	79,549	114,734	115,499	121,618	112,439	107,850	109,379	13,768	19,122	12,238	121,618	120,088	115,499
Y	Dimension Location (PLN28)	149,919	161,392	149,919	139,975	140,740	178,220	185,869	178,985	147,624	147,624	152,213	143,800	143,035	146,094	146,094
Y	Distance PUN9-PLN14	120,853	120,088	118,578	129,267	118,578	135,386	68,075	66,546	74,959	95,611	74,959	98,671	202,696	195,047	211,110
Y	Distance PUN9-PLN14	264,652	263,123	253,944	115,499	123,912	122,383	169,806	170,571	161,392	227,938	213,405	228,703	121,618	134,621	126,207
Y	Distance PUN9-PLN14	212,640	212,640	204,991	133,856	138,445	139,975	102,495	110,909	101,731	145,329	139,200	147,624	214,170	217,994	217,229
Y	Distance PUN9-PLN14	120,853	113,969	162,157	142,505	154,508	100,201	88,727	105,555	104,731	82,608	79,549	81,078	203,461	189,693	203,461
Y	Distance PUN9-PLN14	264,652	257,003	262,358	148,389	146,859	141,505	201,931	191,988	191,988	214,934	214,170	211,110	122,383	129,267	118,558
Y	Distance PUN9-PLN14	212,640	206,521	213,405	166,746	161,392	159,097	134,621	133,261	132,326	132,326	139,975	130,032	214,934	212,640	209,580
Y	Distance PUN9-PLN14	2,295	1,550	0,765	146,859	126,972	152,978	73,430	67,310	78,784	46,658	33,655	48,188	205,756	190,458	214,934
Y	Distance PUN9-PLN14	35,950	37,480	43,599	126,972	115,499	136,916	10,708	2,295	24,477	91,022	96,576	94,082	204,991	189,693	205,756
Y	Distance PUN9-PLN14	153,743	162,922	155,273	128,502	124,677	136,151	169,806	172,865	167,511	177,455	175,925	172,101	130,032	125,442	136,151
Y	Distance PUN9-PLN14	146,094	144,564	140,740	133,091	132,326	139,975	175,160	171,336	165,217	178,985	168,276	178,220	124,677	130,032	130,032
Y	Distance PUN9-PLN14	94,082	94,082	91,787	151,448	146,859	157,568	107,850	111,674	105,555	96,376	94,082	97,141	217,229	213,405	221,054
Y	Distance PUN9-PLN14	115,499	123,912	112,439	108,615	113,204	120,088	107,085	107,850	113,204	39,774	45,893	29,831	129,267	124,677	126,972
Y	Distance PUN9-PLN14	107,850	105,555	97,906	113,204	120,853	123,912	112,439	106,320	110,909	41,304	38,245	35,950	123,912	129,267	120,853
Y	Distance PUN9-PLN14	55,837	55,072	48,953	131,561	135,386	141,505	45,129	46,658	51,248	41,304	35,950	45,129	216,464	212,640	211,875
Y	Distance PUN9-PLN14	77,254	72,665	71,135	107,085	111,674	114,734	107,085	99,436	99,436	22,947	22,947	23,712	99,436	108,615	94,082
Y	Distance PUN9-PLN14	25,241	22,182	22,182	125,442	126,207	132,326	39,774	39,774	39,774	59,662	52,448	57,367	191,988	191,988	185,104
Y	Distance PUN9-PLN14	145,329	149,919	141,505	132,326	136,916	133,856	172,865	177,455	169,041	156,803	156,038	155,273	122,383	131,561	124,677
Y	Distance PUN9-PLN14	93,317	99,436	92,552	150,684	151,448	151,448	105,555	117,793	109,379	74,194	81,843	74,194	214,934	214,934	215,699
Y	Dimension Location (PNT2)	286,834	300,602	270,007	144,564	127,737	135,386	214,170	206,521	227,173	267,712	265,417	260,828	86,433	69,605	97,141
Y	Dimension Location (PNT4)	206,521	208,050	198,107	143,035	143,035	146,859	238,646	225,643	240,941	227,173	232,527	212,640	70,370	71,135	64,251

Intervallo di misure ISO "30-50 mm"

Camplone 5

Asse	Elemento	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
X	Dimension Location (PLN7)	216,494	214,573	218,416	250,441	265,173	242,755	152,443	154,364	143,475	203,684	208,808	202,403	228,023	239,553	224,180
X	Dimension Location (PLN15)	234,429	231,867	234,429	244,677	252,363	246,037	146,037	142,313	152,443	227,383	227,383	218,416	226,102	226,102	230,586
X	Dimension Location (PLN16)	173,580	172,299	174,220	192,155	190,874	194,076	125,541	119,776	124,260	138,351	137,711	137,070	164,612	163,331	166,534
X	Dimension Location (PLN17)	150,521	153,724	153,724	199,841	201,122	202,403	121,057	129,384	116,574	126,822	128,587	119,776	176,782	175,501	175,501
X	Distance PUN7-PLN10	229,304	224,180	238,912	247,239	261,971	248,520	212,651	217,775	207,527	231,226	232,023	238,272	232,507	242,755	230,586
X	Distance PUN7-PLN11	247,879	245,317	249,801	279,265	288,232	267,095	211,370	217,135	199,841	229,945	234,429	238,272	242,115	253,644	230,586
X	Distance PUN7-PLN20	239,553	239,553	245,317	250,441	260,049	234,429	215,854	216,494	206,886	261,330	255,566	256,847	245,317	246,598	242,755
X	Distance PUN7-PLN27	235,069	233,788	236,991	236,350	252,363	231,226	192,795	195,998	188,311	235,710	245,958	233,148	233,788	245,317	222,899
X	Distance PUN10-PLN15	247,239	241,474	254,925	247,239	241,474	258,128	206,246	204,324	216,994	254,925	246,598	254,285	230,586	229,304	236,991
X	Distance PUN10-PLN16	186,390	181,906	194,717	188,952	187,671	199,841	185,749	183,187	188,311	165,893	156,926	172,939	169,096	166,534	172,939
X	Distance PUN10-PLN17	163,331	163,331	174,220	196,638	197,919	208,167	181,266	192,795	180,625	154,364	151,802	155,645	181,266	178,704	181,906
X	Distance PUN10-PLN23	204,965	203,684	199,841	197,279	189,593	195,998	164,612	158,207	161,410	212,651	220,337	198,560	212,011	210,730	193,436
X	Distance PUN10-PLN24	195,357	212,651	185,109	202,403	199,841	189,593	156,286	153,724	155,005	203,684	210,730	191,514	197,279	197,279	192,155
X	Distance PUN11-PLN15	265,814	262,611	265,814	279,265	267,735	276,703	204,965	203,684	208,808	253,644	253,004	254,285	240,193	240,193	236,991
X	Distance PUN11-PLN23	204,965	203,043	202,978	220,978	213,932	218,416	184,468	182,547	180,625	164,612	163,331	172,939	178,704	177,423	172,939
X	Distance PUN11-PLN17	181,906	184,468	185,109	228,664	224,180	226,742	179,985	192,155	180,625	153,083	158,207	155,645	190,874	189,593	181,906
X	Distance PUN11-PLN24	176,782	191,514	174,220	170,377	173,580	171,018	157,567	154,364	162,691	204,965	204,324	191,514	187,671	186,390	192,155
X	Distance PUN15-PLN20	257,487	256,847	261,330	250,441	239,553	244,036	209,448	203,043	215,854	285,029	274,141	272,860	243,396	233,148	249,160
X	Distance PUN15-PLN27	253,004	251,082	253,004	236,350	231,867	240,834	186,390	182,547	197,279	259,409	264,533	249,160	231,867	231,867	229,304
X	Distance PUN16-PLN20	196,638	197,279	201,122	197,155	185,749	185,749	188,952	181,906	181,906	195,998	184,468	191,514	181,906	170,377	185,109
X	Distance PUN16-PLN27	192,155	191,514	192,155	178,063	178,063	182,547	165,893	161,410	169,096	170,377	174,861	167,815	170,377	169,096	165,253
X	Distance PUN17-PLN20	173,580	178,704	180,625	199,841	195,998	194,076	184,468	191,514	179,985	184,468	179,344	174,220	194,076	182,547	194,076
X	Distance PUN17-PLN27	169,096	172,939	172,299	185,749	188,311	190,874	161,410	171,018	161,410	158,848	169,737	150,521	182,547	181,266	174,220
X	Distance PUN20-PLN23	194,717	188,311	193,436	194,076	191,514	210,089	161,410	159,488	162,690	182,547	192,795	179,985	199,200	206,886	181,266
X	Distance PUN20-PLN24	185,109	197,279	178,704	199,200	201,762	203,684	153,083	155,005	155,005	173,580	183,187	172,939	184,468	193,436	179,985
X	Distance PUN24-PLN27	189,593	203,043	187,030	213,292	209,448	206,886	176,142	174,220	174,220	199,200	192,795	196,638	195,998	194,717	199,841
X	Dimension Location (CY11)	118,495	114,652	125,541	148,600	153,083	156,286	69,176	62,130	74,300	146,037	154,364	147,319	148,600	149,881	155,005
X	Dimension Location (CY12)	83,908	81,986	80,064	135,149	137,070	130,025	63,411	62,130	76,221	64,052	71,738	64,692	94,156	103,763	94,796
D	Dimension Location (CY13)	254,925	213,292	273,500	165,972	218,416	190,233	222,259	182,547	295,918	207,157	210,089	211,370	238,912	235,069	221,618

segue

D	Dimension Location (CY14)	307,447	213,992	372,139	304,245	281,186	290,794	244,677	167,815	256,847	274,781	295,278	297,199	299,997	242,115	334,349
X	Location MEDIA CIR(1-2)	148,279	138,031	145,397	180,625	183,828	174,540	89,992	92,234	84,228	180,946	185,109	168,135	157,247	163,331	169,096
X	Location MEDIA CIR(3-4-5)	106,753	105,685	103,336	141,340	138,138	144,970	77,929	79,851	77,289	108,461	103,763	99,280	124,473	126,395	123,619
D	Location MEDIA CIR(6-7-8)	60,422	128,103	40,566	50,387	207,740	33,734	12,170	60,208	40,139	60,208	127,249	59,781	15,586	13,237	10,248
D	Location MEDIA CIR(9-10-11)	343,316	318,550	282,040	226,315	291,861	304,458	321,539	348,013	289,513	307,020	307,661	332,641	242,969	246,385	323,460

Intervallo di misure ISO "50-80 mm"

Asse	Campione 1			Campione 2			Campione 3			Campione 4			Campione 5			
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3	
X	Distance PIN11-PLN23	156,777	153,544	158,992	138,998	137,382	149,234	139,537	133,610	142,230	179,943	179,943	167,013	170,245	168,090	162,703
X	Distance PIN23-PLN27	167,552	163,242	169,707	175,094	167,552	179,404	155,160	151,389	151,928	175,094	170,245	171,323	177,249	175,094	169,168

Intervallo di misure ISO "80-120 mm"

Asse	Campione 1			Campione 2			Campione 3			Campione 4			Campione 5			
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3	
X	Distance PIN7-PLN23	312,078	307,475	315,300	319,443	324,506	319,443	271,112	270,192	265,128	318,983	322,205	313,919	319,443	325,887	304,714
X	Distance PIN7-PLN24	305,174	313,919	304,714	323,125	331,871	314,840	265,128	266,970	260,526	312,539	315,300	308,856	308,856	316,221	303,793
X	Distance PIN15-PLN23	324,966	319,903	326,808	319,443	309,777	326,347	266,509	260,526	271,973	336,013	335,553	325,427	318,062	316,221	309,317
X	Distance PIN15-PLN24	318,062	326,347	316,221	323,125	317,141	321,744	260,526	257,303	266,970	329,569	328,649	320,364	307,475	306,555	308,396
X	Distance PIN16-PLN23	281,239	277,096	283,540	277,556	271,112	284,461	251,780	245,336	251,320	272,033	271,112	266,970	273,874	271,112	263,287
X	Distance PIN16-PLN24	274,334	283,540	272,953	281,239	278,477	279,858	245,796	242,114	246,717	265,589	264,208	261,906	263,287	261,446	262,367
X	Distance PIN17-PLN23	264,668	263,748	268,811	283,080	278,477	290,445	248,558	252,240	245,796	263,748	267,430	254,542	282,620	279,858	269,731
X	Distance PIN17-PLN24	257,764	270,192	258,224	286,762	285,842	285,842	242,574	249,018	241,193	257,303	260,526	249,479	272,033	270,192	268,811

Intervallo di misure ISO "10-18 mm"

Asse	Elemento	Campione 1			Campione 2			Campione 3			Campione 4			Campione 5		
		1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
Z	Distance MEDIA PNT(18-19-20-21-22-23-24-25) vs PLN3	194,307	183,916	200,541	112,451	106,216	115,799	98,596	96,172	98,250	96,634	98,827	102,175	95,364	98,827	98,019
Z	Distance MEDIA PNT(26-27-28-29-30-31-32-33) vs PLN3	117,877	114,529	116,261	43,295	40,870	46,643	50,684	49,760	42,833	23,783	17,895	24,591	24,476	21,012	24,476
D	Dimension Location (CIR8)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,924	0,924	1,847	0,924	0,000	0,000	0,000	0,924	0,924
D	Dimension Location (CIR9)	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	1,847	1,847	0,924
D	Location MEDIA CV(1:5-9-14)	572,414	580,726	576,801	603,355	582,574	607,049	550,478	532,698	551,401	472,201	474,279	469,430	627,369	608,204	621,827

Intervallo di misure ISO "18-30 mm"

Asse	Elemento	Campione 1			Campione 2			Campione 3			Campione 4			Campione 5		
		1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
D	Location MEDIA CIR(1-2-3)	241,451	241,451	241,451	241,196	241,196	241,196	238,136	238,136	238,136	246,805	246,805	246,805	250,119	250,119	245,530
D	Dimension Location (CIR10)	0,765	0,765	0,765	0,000	0,000	0,000	0,000	0,765	0,000	0,765	0,000	0,000	0,765	0,000	0,765
D	Location MEDIA CV(2:6-10-15)	345,922	343,436	342,863	356,439	366,001	357,013	325,652	324,314	318,768	316,665	318,960	311,120	383,975	390,668	380,151
D	Location MEDIA CV(3:7-11-16)	220,862	221,436	225,643	250,311	256,239	254,900	238,837	231,188	236,160	225,452	227,555	225,643	270,580	264,461	266,947
D	Location MEDIA CV(4:8-12-17)	207,477	208,624	205,373	219,141	218,185	223,348	250,311	243,235	239,411	164,834	161,201	164,452	236,160	230,806	236,543

Allegato 5 - Analisi geometriche critiche, lotto 5

Asse	Intervallo di misure ISO "1-3 mm"										Campione 1					Campione 2					Campione 3					Campione 4					Campione 5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
X	459,279	474,035	450,057	394,722	415,011	387,344	350,454	367,055	341,232	448,212	481,413	426,078	339,387	357,832	320,942	171,538	160,471	169,694	130,959	127,270	129,115	7,378	0,000	14,756	1,844	22,134	25,823	60,868	237,940	271,141	249,007	162,316	173,383	136,493	261,918	263,926	263,763	256,385	260,074	256,385	193,672	199,206	199,206	245,318	260,074	256,385	184,450	178,916	180,761	123,581	143,871	114,359	151,249	149,404	164,160	70,091	64,557	84,847	568,105	606,839	560,727	566,260	601,306	544,126	560,727	573,638	514,614	381,811	389,189	376,277	260,074	287,741	236,095	437,145	433,456	448,212	409,478	402,880	387,344	309,875	374,631	296,964	306,186	350,454	252,696	237,940	293,275	164,160	586,550	577,337	590,239	490,636	490,636	499,858	368,899	367,055	368,899	407,633	407,633	409,478	339,387	341,232	343,076	62,713	64,557	88,536	11,067	42,423	11,067	40,579	51,646	11,067	66,402	73,469	57,179	9,222	1,844	14,756	249,007	252,696	241,629	12,911	7,378	20,289	132,804	129,115	118,048	99,603	106,981	86,691	101,447	108,825	121,737	400,256	402,100	416,856	18,445	3,689	27,667	184,450	188,139	182,605	101,447	81,158	105,136	140,182	121,737	153,093	889,047	907,492	872,446	265,607	278,519	274,830	438,990	402,100	446,368	256,385	226,873	271,141	372,588	372,588	359,677	11,067	5,533	31,356	20,289	23,978	9,222	1,844	3,689	5,533	16,600	35,045	5,533	33,201	23,978	31,356	206,583	213,961	204,739	147,560	143,871	154,938	64,557	53,490	66,402	44,268	59,024	38,734	110,670	105,136	125,426	5,533	9,222	1,844	11,067	7,378	16,600	3,689	7,378	16,600	7,378	16,600	16,600	9,222	11,067	16,600	53,490	53,490	53,490	57,179	49,801	49,801	68,246	64,557	70,091	40,579	38,734	46,112	55,335	53,490	59,024	125,426	114,359	123,581	94,069	92,225	92,225	31,356	31,356	25,823	79,313	73,780	75,624	81,158	71,935	70,091	337,543	330,165	324,631	94,069	95,914	86,691	151,249	153,093	160,471	44,268	44,268	36,890	213,961	219,495	225,028	127,720	103,292	140,182	95,914	75,624	112,514	18,445	0,000	27,667	40,579	73,780	16,600	0,000	16,600	22,134	184,450	202,895	189,983	46,112	22,134	53,490	123,581	121,737	118,048	55,335	55,335	60,868	94,069	88,536	92,225	610,528	636,351	601,306	184,450	177,072	160,471	396,567	385,500	394,722	252,696	263,763	265,607	328,320	332,009	332,009	426,078	433,456	411,322	138,337	154,938	106,981	272,985	263,763	276,674	197,361	208,428	204,739	234,251	243,473	239,784	184,450	160,471	195,517	33,201	5,533	47,957	106,981	110,670	97,758	81,158	81,158	64,557	79,313	77,469	62,713	357,832	337,543	357,832	20,289	31,356	1,844	710,131	575,483	900,114	892,736	789,444	964,671	726,731	721,198	711,975	151,249	149,404	175,227	5,533	11,067	7,378	51,646	59,024	64,557	1,844	25,823	18,445	38,734	42,911	31,356	640,040	654,796	630,817	278,519	271,141	295,119	306,186	272,985	328,320	156,782	119,892	184,450	271,141	263,763	237,940	260,074	247,162	272,985	7,378	31,356	11,067	130,959	132,804	112,514	116,203	142,026	92,225	134,648	132,804	153,093	173,383	177,072	162,316	53,490	25,823	46,112	608,150	464,813	802,356	811,578	708,286	900,114	647,418	643,729	649,262	488,791	505,392	455,590	284,052	282,208	302,497	254,540	213,961	263,763	154,938	145,715	166,005	232,406	250,851	206,583	900,114	901,958	903,803	285,897	302,497	284,052	437,145	405,789	440,834	272,985	261,918	276,674	405,789	396,567	391,033	5,533	9,222	1,844	11,067	7,378	16,600	3,689	7,378	16,600	7,378	20,289	1,844	3,689	12,911	16,600	337,543	330,165	324,631	94,069	95,914	86,691	151,249	153,093	160,471	44,268	44,268	36,890	213,961	219,495	225,028	155,093	160,471	151,249	90,380	94,069	105,136	132,804	118,048	136,493	3,689	20,289	7,378	166,005	158,627	184,450	81,158	99,603	81,158	53,490	51,646	62,713	95,914	84,847	92,225	35,045	14,756	36,890	191,828	177,072	195,517	130,959	116,203	119,892	53,490	47,957	68,246	86,691	99,603	94,069	0,000	14,756	1,844	103,292	114,359	99,603	332,009	320,942	322,787	83,002	88,536	70,091	147,560	160,471	143,871	36,890	23,978	35,045	217,650	232,406	208,428	154,938	147,560	164,160	186,294	186,294	204,739	247,162	254,540	232,406	274,830	250,851	280,363	298,808	267,452	324,631	71,935	60,868	70,091	36,890	42,423	42,423	36,890	33,201	44,268	38,734	35,045	29,512	25,823	18,445	11,067	284,052	276,674	271,141	36,890	46,112	36,890	219,495	217,650	230,562	3,689	5,533	9,222	269,296	272,985	284,052	212,117	215,806	201,050	0,000	3,689	5,533	182,605	184,450	186,294	35,045	29,512	38,734	295,119	291,430	295,119	116,203	107,903	117,125	50,724	53,490	49,801	45,190	50,724	48,579	45,190	42,423	30,434	51,646	57,179	66,402	0,000	94,069	25,823	123,581	60,868	237,940	60,868	75,624	51,646	3,689	51,646	7,378	59,024	75,624	81,158	116,203	103,292	121,737	75,624	59,024	88,536	60,868	66,402	59,024	55,335	42,423	64,557	23,978	31,356	14,756	761,777	783,296	749,480	95,299	129,730	43,038	7,378	51,031	28,897	222,569	200,435	231,792	38,120	59,024	28,282

Asse	Intervallo di misure ISO "3-6 mm"										Campione 1					Campione 2					Campione 3					Campione 4					Campione 5																																																																																																																						
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3																																																																																									
Y	113,274	124,192	107,815	5,459	23,201	27,30	54,590	54,590	62,779	30,025	24,566	40,943	49,131	50,496	50,496	249,749	242,926	252,479	30,025	19,107	38,213	133,746	136,475	135,110	90,074	84,615	88,709	107,815	107,815	96,897	378,036	373,942	372,577	9,553	0,000	4,094	580,019	480,392	728,777	690,564	608,679	754,707	586,843	584,113	577,290	40,943	47,766	36,848	1,365	5,459	13,648	28,660	25,930	35,484	0,000	2,730	2,730	5,459	5,459	13,648	80,520	70,967	60,049	88,709	62,779	87,344	24,566	38,213	40,943	47,766	35,484	43,672	9,553	20,471	34,119	5,459	8,189	5,459	16,377	4,094	32,754	102,356	92,803	110,545	77,791	81,885	68,238	91,438	99,627	84,615	96,897	128,287	131,251	116,004	116,004	147,393	185,606	184,241	140,569	150,123	124,92	189,700	176,053	185,606	81,885	87,344	58,684	21,836	54,590	36,848	388,954	367,118	405,331	55,955	28,660	91,438	16,377	4,094	53,225	28,660	19,107	46,402	38,213	10,918	46,402	432,626	398,507	458,556	75,061	42,307	116,004	75,061	35,484	132,381	481,757	479,028	480,392	146,028	161,041	135,110	387,589	383,495	380,766	293,421	297,516	282,503	331,635	328,905	323,446

segue

Asse	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
Y	345,282	360,294	335,729	170,594	156,946	170,594	308,434	301,610	308,434	233,372	237,467	234,737	272,950	271,585	277,044
Y	216,995	229,278	215,631	131,016	137,840	136,475	137,840	42,307	285,233	367,118	286,598	431,261	206,077	204,713	203,348
Y	345,282	328,905	339,823	111,910	144,564	95,533	296,151	293,421	296,151	252,479	256,573	267,467	262,032	263,397	255,208
Y	208,807	210,172	195,159	136,475	140,569	131,016	216,995	211,536	221,090	192,430	196,524	189,700	203,348	206,077	208,807
Y	80,520	79,156	75,061	96,897	121,463	96,897	229,278	132,381	372,577	408,061	327,540	476,298	275,680	270,221	271,585
Y	30,025	8,189	35,484	9,553	30,025	16,377	94,168	98,262	88,709	106,451	102,356	85,979	88,709	83,250	77,791
Y	106,451	110,545	109,180	34,119	25,930	51,861	15,012	16,377	16,377	16,377	42,307	38,213	30,025	25,930	31,389
Y	234,737	241,561	229,278	4,094	6,824	17,742	431,261	327,540	577,290	554,089	481,575	627,786	449,003	450,368	449,003
Y	70,967	62,779	70,967	4,094	28,660	12,283	43,672	40,943	24,566	43,672	54,590	23,201	25,930	30,025	39,578
Y	182,877	173,323	200,618	8,189	20,471	17,742	81,885	84,615	72,332	45,037	35,484	36,848	54,590	39,578	62,779
Y	544,536	547,285	537,712	201,983	229,278	206,077	270,221	242,926	267,491	159,676	143,299	159,676	226,549	225,184	215,631
Y	121,463	120,098	131,016	9,553	5,459	4,094	53,225	57,320	58,684	42,307	50,496	45,037	73,697	68,238	73,697
Y	65,508	55,955	193,795	20,471	24,566	23,201	35,484	47,766	47,766	16,377	5,459	24,566	32,754	27,295	6,824
Y	46,402	54,590	55,955	16,377	16,377	17,742	481,757	384,860	641,433	616,868	529,523	690,564	511,782	503,593	487,216
Y	408,061	428,532	393,048	226,549	225,184	241,561	191,065	161,041	195,159	99,627	83,250	111,910	167,864	167,864	169,229
Y	257,938	238,831	275,680	15,012	1,365	31,389	132,381	139,205	131,016	102,356	110,545	92,803	132,381	125,557	120,098
Y	81,885	76,426	64,143	23,201	2,730	16,377	443,544	341,888	593,667	615,503	548,630	676,917	483,122	494,040	464,015
Y	279,774	297,516	272,950	186,971	206,077	207,442	255,208	182,877	398,507	500,864	440,815	554,089	311,163	308,434	311,163
Y	386,225	369,848	395,778	24,566	17,742	2,730	578,654	483,122	724,083	702,847	634,609	738,802	611,409	601,855	600,490
Z	152,852	158,311	151,487	109,180	106,451	114,639	47,766	39,578	49,131	32,754	43,672	28,660	81,885	77,791	92,803
Z	40,943	47,766	36,848	1,365	5,459	13,648	28,660	25,930	35,484	0,000	2,730	2,730	5,459	5,459	13,648
Z	39,578	39,578	39,578	42,307	36,848	36,848	50,496	47,766	51,861	30,025	28,660	34,119	40,943	39,578	43,672
Z	92,803	84,615	91,438	69,602	68,238	68,238	23,201	23,201	19,107	58,684	54,590	55,955	60,049	53,225	51,861
Z	148,758	151,487	150,123	100,992	100,992	102,356	45,037	45,037	36,848	27,295	28,660	27,295	84,615	87,344	80,520
Z	45,037	54,590	38,213	9,553	0,000	25,930	25,930	31,389	23,201	5,459	12,283	4,094	8,189	15,012	1,365
Z	35,484	32,754	38,213	34,119	31,389	24,566	53,225	42,307	64,143	24,566	13,648	32,754	38,213	30,025	55,955
Z	88,709	77,791	90,074	61,414	62,779	55,955	25,930	17,742	31,389	53,225	39,578	54,590	57,320	43,672	64,143
Z	36,848	46,402	25,930	2,730	2,730	6,824	1,365	2,730	2,730	43,672	39,578	40,943	45,037	43,672	46,402
Z	290,992	292,057	277,044	70,967	65,508	77,791	83,250	83,250	83,250	32,754	30,025	30,025	152,852	156,946	152,852
Z	212,901	200,618	232,008	173,323	161,041	186,971	186,971	176,053	186,971	236,102	221,090	253,844	201,983	171,959	227,913
Z	98,262	91,438	110,545	35,484	23,201	36,848	4,094	4,094	15,012	32,754	35,484	46,402	19,107	25,930	12,283
Y	65,508	54,590	43,672	65,508	66,873	95,533	23,201	16,377	27,295	8,189	5,459	15,012	12,283	19,107	1,365

Intervallo di misura ISO "6-10 mm"

Asse	Campione 1			Campione 2			Campione 3			Campione 4			Campione 5		
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3
Y	485,460	492,141	479,893	114,684	112,457	108,004	360,755	357,414	361,868	263,885	262,772	263,885	310,650	309,536	305,083
Y	374,116	369,662	369,662	86,848	99,096	75,714	286,154	283,927	290,008	230,482	229,367	227,142	253,864	256,091	249,411
Y	116,911	108,004	116,911	3,340	5,567	11,134	121,365	124,705	123,592	111,344	103,550	103,550	112,457	109,117	104,663
Z	3,340	1,113	8,908	3,340	2,227	5,567	24,496	23,382	26,723	35,630	34,517	31,176	32,290	31,176	26,723
X	53,445	46,765	46,765	26,723	36,744	30,063	341,826	325,125	357,414	85,735	79,054	104,663	61,239	38,970	94,642
X	194,852	209,327	183,718	230,482	254,978	219,348	263,885	241,617	241,617	253,864	267,226	229,369	269,453	278,360	242,730
X	12,248	33,403	20,042	76,827	75,714	64,580	468,758	449,830	462,078	160,335	145,861	175,924	168,130	140,294	194,852
X	90,189	86,848	85,735	48,991	53,445	67,920	35,630	25,609	43,424	15,588	11,134	20,042	47,878	32,290	64,580
Y	335,146	339,599	334,032	122,478	108,004	120,252	280,587	279,474	290,608	203,760	198,192	211,554	249,411	243,843	231,596
Y	243,843	249,411	228,255	125,819	114,684	124,705	249,411	243,843	251,638	202,646	213,781	200,419	226,028	236,049	212,667
Y	51,218	55,672	46,765	45,651	55,672	57,899	95,756	114,684	92,416	109,117	125,819	100,210	85,735	84,611	87,962
Y	492,141	488,800	488,821	126,932	126,932	113,571	359,641	359,641	358,528	273,906	283,927	267,226	330,692	324,011	324,011
Y	225,802	217,121	219,348	94,642	94,642	87,962	205,987	205,987	219,348	170,356	164,789	174,810	192,625	190,398	175,924
Y	132,499	126,932	113,571	97,983	101,323	92,416	174,810	170,356	180,377	169,243	180,377	163,676	169,243	182,604	156,995
Y	162,562	178,150	161,449	73,487	69,033	90,189	21,155	41,197	21,155	75,714	92,416	63,466	28,949	31,176	32,290
Y	380,797	366,322	384,137	99,096	113,571	81,281	285,041	286,154	287,268	240,503	250,524	230,482	273,906	270,566	268,339
Y	33,403	44,538	28,949	11,134	1,113	23,382	41,197	46,765	52,332	51,218	38,970	51,218	51,218	43,424	31,176
Y	124,705	134,726	134,726	14,475	7,794	27,836	10,021	11,134	13,361	50,105	54,559	40,084	27,836	35,630	12,248
Y	419,767	439,809	409,746	156,995	162,562	154,768	143,634	118,025	145,861	43,424	33,403	60,126	112,457	115,798	112,457
Y	123,592	104,663	135,840	15,988	20,042	16,702	120,252	126,932	120,252	121,365	124,705	106,890	132,499	123,592	123,592
Z	3,340	1,113	8,908	3,340	2,227	5,567	24,496	23,382	26,723	35,630	34,517	31,176	32,290	31,176	26,723
Z	158,109	168,130	153,655	90,189	82,395	104,663	15,588	11,134	11,134	26,723	33,403	25,609	62,353	59,012	64,580
Z	6,681	6,681	10,021	10,021	2,227	15,588	22,269	27,836	16,702	16,702	22,269	30,063	30,063	32,382	36,744
Z	65,693	71,260	62,353	35,630	25,609	41,197	64,580	60,126	71,260	24,496	21,155	30,063	37,857	36,744	46,765
Z	109,117	108,004	104,663	57,899	51,218	66,806	42,311	40,084	44,538	47,878	42,311	47,878	53,445	47,878	53,445
Y	226,028	236,421	218,234	6,309	5,846	3,526	199,677	204,316	195,038	119,788	124,427	117,746	177,315	178,707	173,140
Y	24,125	30,434	41,197	138,438	148,459	132,871	43,053	41,197	38,599	18,557	28,949	18,186	21,527	15,217	21,898

Intervallo di misure ISO "10-18"

Asse	Campione 1										Campione 2										Campione 3										Campione 4										Campione 5																																				
	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3	1_R1	1_R2	1_R3	2_R1	2_R2	2_R3	3_R1	3_R2	3_R3	4_R1	4_R2	4_R3	5_R1	5_R2	5_R3																	
Z	141,314	134,849	149,626	114,529	110,834	122,842	106,216	99,751	104,369	189,342	178,259	197,655	163,481	142,238	176,411	63,730	60,959	67,424	21,243	17,549	20,320	122,842	106,216	99,751	104,369	189,342	178,259	197,655	163,481	142,238	176,411	141,314	134,849	149,626	114,529	110,834	122,842	106,216	99,751	104,369	189,342	178,259	197,655	163,481	142,238	176,411	63,730	60,959	67,424	21,243	17,549	20,320	122,842	106,216	99,751	104,369	189,342	178,259	197,655	163,481	142,238	176,411	141,314	134,849	149,626	114,529	110,834	122,842	106,216	99,751	104,369	189,342	178,259	197,655	163,481	142,238	176,411
Z	63,730	60,959	67,424	21,243	17,549	20,320	122,842	106,216	99,751	104,369	189,342	178,259	197,655	163,481	142,238	176,411	63,730	60,959	67,424	21,243	17,549	20,320	122,842	106,216	99,751	104,369	189,342	178,259	197,655	163,481	142,238	176,411	141,314	134,849	149,626	114,529	110,834	122,842	106,216	99,751	104,369	189,342	178,259	197,655	163,481	142,238	176,411	63,730	60,959	67,424	21,243	17,549	20,320	122,842	106,216	99,751	104,369	189,342	178,259	197,655	163,481	142,238	176,411														
Z	54,494	66,501	55,417	85,897	93,286	78,508	105,293	103,445	86,820	61,883	55,417	59,112	88,668	84,049	83,126	11,083	20,320	0,924	7,389	6,465	0,000	20,320	21,243	22,167	33,250	24,938	39,716	35,098	42,487	130,230	54,494	66,501	55,417	85,897	93,286	78,508	105,293	103,445	86,820	61,883	55,417	59,112	88,668	84,049	83,126	11,083	20,320	0,924	7,389	6,465	0,000	20,320	21,243	22,167	33,250	24,938	39,716	35,098	42,487	130,230																	
X	33,250	55,417	39,716	15,702	23,091	3,694	127,460	134,849	139,467	74,813	60,035	144,085	46,181	45,257	72,966	36,945	49,875	43,410	20,273	214,280	204,120	149,626	152,397	125,612	157,939	166,252	144,085	161,634	163,481	144,085	33,250	55,417	39,716	15,702	23,091	3,694	127,460	134,849	139,467	74,813	60,035	144,085	46,181	45,257	72,966	36,945	49,875	43,410	20,273	214,280	204,120	149,626	152,397	125,612	157,939	166,252	144,085	161,634	163,481	144,085																	
X	165,328	168,099	156,092	123,765	114,529	125,612	149,626	152,397	125,612	157,939	166,252	144,085	161,634	163,481	144,085	97,751	81,279	99,751	75,737	65,577	62,806	110,834	108,987	111,758	95,133	64,653	60,035	44,334	18,472	107,140	165,328	168,099	156,092	123,765	114,529	125,612	149,626	152,397	125,612	157,939	166,252	144,085	161,634	163,481	144,085	97,751	81,279	99,751	75,737	65,577	62,806	110,834	108,987	111,758	95,133	64,653	60,035	44,334	18,472	107,140																	
X	87,744	103,445	80,355	75,737	65,577	62,806	110,834	108,987	111,758	95,133	64,653	60,035	44,334	18,472	107,140	96,057	86,820	96,057	112,882	111,758	103,445	93,286	90,515	91,438	115,453	120,071	106,216	95,133	111,758	75,737	87,744	103,445	80,355	75,737	65,577	62,806	110,834	108,987	111,758	95,133	64,653	60,035	44,334	18,472	107,140																																
X	151,474	145,932	135,773	127,460	148,703	128,383	169,946	147,939	182,877	181,953	176,411	184,724	181,953	176,411	184,724	151,474	145,932	135,773	127,460	148,703	128,383	169,946	147,939	182,877	181,953	176,411	184,724	181,953	176,411	184,724	151,474	145,932	135,773	127,460	148,703	128,383	169,946	147,939	182,877	181,953	176,411	184,724	181,953	176,411	184,724																																
X	141,314	134,849	149,626	114,529	110,834	122,842	106,216	99,751	104,369	189,342	178,259	197,655	163,481	142,238	176,411	63,730	60,959	67,424	21,243	17,549	20,320	122,842	106,216	99,751	104,369	189,342	178,259	197,655	163,481	142,238	176,411	141,314	134,849	149,626	114,529	110,834	122,842	106,216	99,751	104,369	189,342	178,259	197,655	163,481	142,238	176,411																															
Z	63,730	60,959	67,424	21,243	17,549	20,320	122,842	106,216	99,751	104,369	189,342	178,259	197,655	163,481	142,238	176,411	63,730	60,959	67,424	21,243	17,549	20,320	122,842	106,216	99,751	104,369	189,342	178,259	197,655	163,481	142,238	176,411	141,314	134,849	149,626	114,529	110,834	122,842	106,216	99,751	104,369	189,342	178,259	197,655	163,481	142,238	176,411																														
Z	106,216	108,064	109,911	76,060	70,195	82,202	12,007	7,389	11,083	82,202	92,362	67,424	88,668	92,362	72,042	106,216	108,064	109,911	76,060	70,195	82,202	12,007	7,389	11,083	82,202	92,362	67,424	88,668	92,362	72,042	106,216	108,064	109,911	76,060	70,195	82,202	12,007	7,389	11,083	82,202	92,362	67,424	88,668	92,362	72,042																																
Z	138,543	130,230	148,703	108,987	107,140	114,529	108,064	96,057	112,882	185,648	168,099	196,731	161,634	135,772	184,724	60,959	56,341	66,501	15,702	13,854	12,007	108,064	108,987	111,758	95,133	64,653	60,035	44,334	18,472	107,140	138,543	130,230	148,703	108,987	107,140	114,529	108,064	96,057	112,882	185,648	168,099	196,731	161,634	135,772	184,724																																
Z	169,023	167,175	174,564	115,453	107,140	132,078	125,612	117,300	128,383	189,342	176,411	199,502	167,175	145,932	185,648	169,023	167,175	174,564	115,453	107,140	132,078	125,612	117,300	128,383	189,342	176,411	199,502	167,175	145,932	185,648	169,023	167,175	174,564	115,453	107,140	132,078	125,612	117,300	128,383	189,342	176,411	199,502	167,175	145,932	185,648																																
Z	91,438	93,286	92,362	22,167	13,854	29,556	1,847	10,160	12,007	51,723	50,799	59,112	17,549	12,007	23,091	91,438	93,286	92,362	22,167	13,854	29,556	1,847	10,160	12,007	51,723	50,799	59,112	17,549	12,007	23,091	91,438	93,286	92,362	22,167	13,854	29,556	1,847	10,160	12,007	51,723	50,799	59,112	17,549	12,007	23,091																																
Z	29,556	27,709	34,174	31,403	23,091	29,556	54,494	51,723	57,264	2,771	9,236	2,771	0,924	0,924	7,389	29,556	27,709	34,174	31,403	23,091	29,556	54,494	51,723	57,264	2,771	9,236	2,771	0,924	0,924	7,389	29,556	27,709	34,174	31,403	23,091	29,556	54,494	51,723	57,264	2,771	9,236	2,771	0,924	0,924	7,389																																
Z	65,577	58,188	69,272	49,875	44,334	50,799	36,021	35,098	35,098	10,160	8,313	12,007	13,854	10,160	12,931	65,577	58,188	69,272	49,875	44,334	50,799	36,021	35,098	35,098	10,160	8,313	12,007	13,854	10,160	12,931	65,577	58,188	69,272	49,875	44,334	50,799	36,021	35,098	35,098	10,160	8,313	12,007	13,854	10,160	12,931																																
Z	171,793	166,252	169,946	49,875	46,181	46,028	55,417	57,264	58,188	167,175	156,092	179,182	270,621	252,148	289,093	171,793	166,252	169,946	49,875	46,181	46,028	55,417	57,264	58,188	167,175	156,092	179,182	270,621	252,148	289,093	171,793	166,252	169,946	49,875	46,181	46,028	55,417	57,264	58,188	167,175	156,092	179,182	270,621	252,148	289,093																																
Z	27,709	30,479	12,931	67,424	62,806	79,431	181,953	176,411	184,724	29,556	30,479	38,792	120,994	118,223	126,536	27,709	30,479	12,931	67,424	62,806	79,431	181,953	176,411	184,724	29,556	30,479	38,792	120,994	118,223	126,536	27,709	30,479	12,931	67,424	62,806	79,431	181,953	176,411	184,724	29,556	30,479	38,792	120,994	118,223	126,536																																
Z	105,293	104,369	95,133	25,861	30,479	23,091	58,188	48,952	68,348	73,890	73,428	80,355	52,646	50,337	52,185	105,293	104,369	95,133	25,861	30,479	23,091	58,188	48,952	68,348	73,890	73,428	80,355	52,646	50,337	52,185	105,293	104,369	95,133	25,861	30,479	23,091	58,188	48,952	68,348	73,890	73,428	80,355	52,646	50,337	52,185																																
Z	58,188	70,195	55,417	78,970	102,984	40,177	23,552	25,861	20,781	73,890	73,428	80,355	52,646	50,337	52,185	58,188	70,195	55,417	78,970	102,984	40,177	23,552	25,861	20,781	73,890	73,428	80,355	52,646	50,337	52,185	58,188	70,195	55,417	78,970	102,984	40,177	23,552	25,861	20,781	73,890	73,428	80,355	52,646	50,337	52,185																																
X	32,789	46,643	38,792	48,952	40,177	41,563	96,980	94,671	100,675	74,813	67,886	91,900	128,383	121,456	123,303	32,789	46,643	38,792	48,952	40,177	41,563	96,980	94,671	100,675	74,813	67,886	91,900	128,383	121,456	123,303	32,789	46,643	38,792	48,952	40,177	41,563	96,980	94,671	100,675	74,813	67,886	91,900	128,383	121,456	123,303																																

Bibliografia

- [1] Stratasys, Ltd., [Online]. Available: <http://www.stratasys.com>
- [2] “Wohlers Report 2014—3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry, Annual Worldwide Progress Report”, Wohlers Associates, Cary, NC, USA, 2014.
- [3] Anna Mion, Le dinamiche innovative della stampa 3D e l'impatto sui modelli produttivi esistenti. Tesi di Laurea Magistrale in Economia e gestione delle aziende, Università Ca' Foscari Venezia, 2013, 37-38.
- [4] N. S. A. Bakar, M. R. Alkahari, and H. Boejang, “Analysis on fused deposition modelling performance,” *J. Zhejiang Univ.-Sci. A*, vol. 11, no. 12, pp. 972–977, Dec. 2010.
- [5] R. Anitha, S. Arunachalam, and P. Radhakrishnan, “Critical parameters influencing the quality of prototypes in fused deposition modelling,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 118, nos. 1–3, pp. 385–388, Dec. 2001.
- [6] B. N. Turner and S. A. Gold, “A review of melt extrusion additive manufacturing processes: II. Materials, dimensional accuracy, and surface roughness,” *Rapid Prototyping J.*, vol. 21, no. 3, pp. 250–261, 2015.
- [7] Moylan S, Slotwinski J, Cooke A, Jurrens K, Donmez MA. Proposal for a standardized test artifact for additive manufacturing machines and processes. in 23rd Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium - An Additive Manufacturing Conference, SFF 2012. 2012. Austin, TX, 902-920.
- [8] Moylan S, Slotwinski J, Cooke A, Jurrens K, Donmez MA. An additive manufacturing test artifact. *J Res Natl Inst Stan* 2014;119:429-459.
- [9] B. N. Turner, R. Strong, and S. A. Gold, “A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling,” *Rapid Prototyping J.*, vol. 20, no. 3, pp. 192–204, 2014.
- [10] R. Singh, “Process capability analysis of fused deposition modelling for plastic components,” *Rapid Prototyping J.*, vol. 20, no. 1, pp. 69–76, 2014.

- [11] L. M. Galantucci, F. Lavecchia, and G. Percoco, "Experimental study aiming to enhance the surface finish of fused deposition modeled parts," *CIRP Ann.-Manuf. Technol.*, vol. 58, no. 1, pp. 189–192, Dec. 2009.
- [12] A. Garg, A. Bhattacharya, and A. Batish, "On surface finish and dimensional accuracy of FDM parts after cold vapor treatment," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 31, no. 4, pp. 522–529, Jul. 2015.
- [13] ISO, ISO 10360-2:2009 - Geometrical product specifications (GPS) - Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) - Part 2: CMMs used for measuring linear dimensions. 2009, International Organization for Standardization (ISO).
- [14] P. Minetola, L. Iuliano, and G. Marchiandi, "Benchmarking of FDM machines through part quality using IT grades," *Procedia CIRP*, vol. 41, pp. 1027–1032, 2016.
- [15] ISO, ISO 286-1:1988 - ISO system of limits and fits - Part 1: Basis of tolerances, deviations and fit. 1988, International Organization for Standardization (ISO).
- [16] Rebaioli L, Fassi I. A review on benchmark artifacts for evaluating the geometrical performance of additive manufacturing processes. *Int J Adv Manuf Tech* 2017;93(5):2571-2598.
- [17] C. J. L. Pérez, "Analysis of the surface roughness and dimensional accuracy capability of fused deposition modelling processes," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 40, no. 12, pp. 2865–2881, 2002.
- [18] P. Minetola, L. Iuliano, E. Bassoli, and A. Gatto, "Impact of additive manufacturing on engineering education—Evidence from Italy," *Rapid Prototyping J.*, vol. 21, no. 5, pp. 535–555, 2015.
- [19] Minetola P, Galati M. A challenge for enhancing the dimensional accuracy of a low-cost 3D printer by means of self-replicated parts. *Addit Manuf* 2018;22:256-264.
- [20] Minetola P, Galati M, Iuliano L, Atzeni E, Salmi A. The Use of Self-replicated Parts for Improving the Design and the Accuracy of a Low-cost 3D Printer. *Proc CIRP* 2018;67:203-208.