

# Abstract (italiano)

La Sinterizzazione Selettiva con Laser (SLS) è un processo di manifattura additiva tramite il quale è possibile ottenere manufatti utilizzando un raggio laser per sinterizzare in maniera selettiva particelle di polveri. Tale processo presenta numerosi vantaggi, tra i quali la capacità di realizzare oggetti di forma complessa, di elevata risoluzione, mediante l'impiego di un grande varietà di materiali. Grazie a tali qualità, il processo SLS viene utilizzato in applicazioni avanzate come ad esempio nell'ambito dell'ingegneria tissutale per la realizzazione di scaffold. Tuttavia, punto cruciale del processo è la qualità dello strato di polvere, che dipende sia dalle proprietà della polvere sia dalle condizioni operative di distribuzione. Risulta quindi fondamentale comprendere più dettagliatamente la fase di deposizione della polvere prima della sinterizzazione. A tale scopo, sono stati sviluppati un nuovo apparato sperimentale e il corrispondente modello basato sul metodo degli elementi discreti (DEM), in grado di replicare il processo di distribuzione della polvere.

Il modello di Johanson è stato applicato al processo di compattazione dello strato di polvere per capire se è possibile aumentarne la densità. Sulla base dei risultati ottenuti col modello, una nuova configurazione per la formazione dello strato è stata progettata e realizzata. Essa combina l'azione della lama e del rullo in modo da poter distribuire e/o compattare lo strato.

La polvere poliammide 6 3400 HT110 Natural della Domo Sinterline è stata usata come materiale di prova. Strati di polvere sono stati ottenuti con la lama a due diverse velocità di avanzamento:  $3 \text{ mm s}^{-1}$  e  $3 \text{ cm s}^{-1}$ .

Un sistema ottico è stato messo a punto per osservare lo strato di polvere a livello particellare. Esso consta di un microscopio collegato a una fotocamera, e può essere posizionato in corrispondenza di punti specifici dello strato di polvere.

La qualità della superficie dello strato è stata analizzata in termini di lunghezza caratteristica della rugosità, calcolata applicando lo spettro di potenza della trasformata wavelet ad immagini in scala di grigi degli strati distribuiti.

Il confronto tra test a diverse velocità della lama ha mostrato differenze nella qualità della superficie dello strato ottenuto. La leggera dipendenza delle asperità superficiali dalla velocità della lama suggerirebbe che non c'è una correlazione diretta tra lunghezza caratteristica delle asperità superficiali e dimensione degli aggregati, che dipendono dal numero di Bond.

L'effetto del riutilizzo della polvere è stato analizzato suggerendo che sono necessarie un'opportuna preparazione della polvere già utilizzata e adeguate condizioni dell'esperimento.

Il modello DEM è stato creato per simulare la distribuzione delle polveri allo scopo futuro di capire i meccanismi e le proprietà delle polveri che sono responsabili di una buona o cattiva qualità dello strato. Il modello Hertz-Mindlin (no slip) con JKR è stato usato per descrivere le interazioni interparticellari.

Tre diversi approcci sono stati provati per calibrare i parametri del modello e quello basato sul confronto tra densità di bulk e porosità sperimentali e le corrispondenti proprietà misurate delle simulazioni si è rivelato essere l'approccio corretto.

Il modello DEM è stato validato applicando lo spettro di potenza della trasformata wavelet alle immagini in scala di grigi degli strati ottenuti con le simulazioni e confrontando la lunghezza caratteristica di rugosità degli strati sperimentali con quella delle simulazioni.

Pertanto, il modello DEM consente di valutare da un punto di vista quantitativo la qualità degli strati di polvere, misurata in termini di dimensioni delle asperità superficiali, ottenuti tramite deposizione nelle stesse condizioni di distribuzione dell'esperimento. Al meglio delle mie conoscenze, questa procedura di analisi è stata applicata per la prima volta a strati sperimentali e simulati del processo di manifattura additiva.

L'analisi dello strato di polvere simulato potrà essere impiegata in futuro per scegliere la migliore configurazione di distribuzione per una data polvere o per ingegnerizzare opportunamente le polveri, cioè con adeguate proprietà delle particelle, al fine di conseguire una buona qualità dello strato per una data configurazione di distribuzione.

## Abstract (inglese)

Selective Laser Sintering (SLS) is an additive manufacturing process by means of which three-dimensional objects can be manufactured using a laser beam to selectively sinter powder particles. Many are the advantages of SLS, among which are the capacity to build high resolution and very complex shaped objects by using a range of materials. Because of these qualities, SLS is used in advanced applications, e.g. scaffolds for tissue engineering. However, one drawback of SLS is the quality of the powder layer, which depends not only on the powder flow properties but also on the operating conditions. In particular, spreading of powder is a crucial step. Collecting information about the spreadability, that is the capacity of the powder to be spread, is relevant to optimize the distribution and the layering of powder.

A new experimental setup able to simulate the powder spreading process and its DEM model were developed with the purpose of achieving this objective. The Johanson's model was applied to the compaction of the powder layer to understand whether it is possible to increase the density of the layer. Based on the results of the model, a new configuration was designed and built. It combines the action of the blade and of the roller so as to spread and compact the layer, respectively.

The Domo's Sinterline unfilled polyamide 6 3400 HT110 Natural was used as a test material. Layers of the powder were produced with a blade running at two different scrolling velocities, namely  $3 \text{ mm s}^{-1}$  and  $3 \text{ cm s}^{-1}$ .

An optical system was set up to observe the powder layer at the particle level. It consists of a microscope coupled with a camera, that can be positioned on the powder surface in defined locations.

Quality of the powder surface was analysed in terms of characteristic length of roughness, calculated by applying the power spectrum of the wavelet transform to greyscale images of the deposited layers. Comparison between the tests at different blade velocities showed slight differences in the powder surface quality. The slight dependence of surface asperities from the scrolling velocity of the blade would suggest that there is not a direct relationship between characteristic length of roughness and dimension of aggregates, which depends on the Bond number.

The effect of recycling the powder was also analysed suggesting that adequate preparation of the used powder and proper test conditions are necessary.

A DEM model was created to simulate the spreading of powders with the future aim of understanding the mechanisms and the powder properties which are responsible for good or bad quality of the layer. The Hertz-Mindlin (no slip) with JKR cohesive model was used to describe interparticle interactions.

Three different approaches were tried to calibrate the model parameters and the one based on the comparison between the experimental bulk density and porosity with those measured from the simulations turned out to be the right one.

DEM model was validated by applying the wavelet power spectrum to greyscale images of the layers obtained with the simulations and by comparing the characteristic length of roughness of the experimental layers with the simulated ones.

Therefore, the DEM model allows to quantitatively evaluate the quality of the powder layer, i.e. in terms of dimension of surface asperities, obtained through deposition in the same spreading conditions of the experiment. To the best of my knowledge, this procedure of analysis has been applied for the first time to experimental and simulated layers of additive manufacturing processes. Analysis of simulated powder layer can be used to choose the suitable spreading configuration for a certain powder or to properly engineer powders with desired particle properties to obtain good quality layers with a given spreading configuration.