



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Report Esercitazione 1 - Group6 Fake-Ing - TAM

Marco Giancarli, Julien Schluchter, John Constantin, Marco Casalbore

Sessione 2023/2024

1 Progettazione stampe

I criteri adottati per l'implementazione dei modelli *.stl* all'interno del software GrabCad sono stati quelli in gran parte dettati dalla consegna dell'esercitazione: garantire gli standard qualitativi richiesti a livello geometrico, superficiale e funzionale cercando al contempo di minimizzare il tempo di fabbricazione e la quantità di materiale complessivamente impiegato nel processo produttivo (in un'ottica di sostenibilità). Non è stata data alcuna specifica da rispettare per quanto riguarda il peso massimo dell'oggetto; nonostante ciò, durante il dimensionamento delle stampe (specialmente per quanto riguarda il riempimento delle componenti) si cerca comunque di minimizzare in maniera euristica il peso complessivo del drone.

In questo caso il lotto di produzione comprende 7 droni da fabbricare con una Dimension BST1200es in materiale ABS (cam supports e pin caps) e con una Fortus 360mc large in materiale PC (cam plate, stands, drone blades, drone bases).

1.1 Cam supports e Pin caps

Entrambi i pezzi vengono posti verticalmente rispetto alla direzione di stampa poiché tale orientamento garantisce senza alcun dubbio la riuscita migliore dei pezzi in termini di funzionalità e robustezza (ci si assicura che entrambi i fori funzionali vengano costruiti con la miglior accuratezza).

Il layer selezionato è il più alto possibile fornito dalla macchina: 0.33 mm . Per quanto riguarda il riempimento, si opta per un riempimento sparso a bassa densità al fine di minimizzare il tempo di fabbricazione ed al contempo garantire una mediocre solidità strutturale interna (si presuppone che tali componenti non verranno sottoposte a particolari sforzi e che inoltre il loro asse principale viene supportato da una vite o da un qualche tipo di gancio con il pezzo adiacente).

1.2 Drone Blade

La configurazione della stampa per le eliche è stata senza alcun dubbio quella a cui è stata posta maggior attenzione.

Attraverso alcuni test si è potuto notare come, posizionando la blade perpendicolarmente rispetto alla tavola, il foro centrale (fondamentale per l'attacco dei motori del drone) venisse stondato e quindi che non fossero rispettate le delicate tolleranze geometriche del punto di raccordo. Inoltre, posizionando la blade verticalmente, attraverso le simulazioni si è visto come sarebbe stato necessario utilizzare il doppio del materiale di supporto rispetto all'orientazione scelta.

L'orientamento verticale inoltre è anche quello più "rischioso" a livello pratico, in quanto così disposto il pezzo potrebbe rompersi in alcuni punti o addirittura spezzarsi essendo estremamente fino e fragile. L'orientamento scelto è quello orizzontale (parallelo alla tavola), il quale rappresenta il miglior compromesso nei termini sopra descritti: si garantisce una precisa forma del foro funzionale ed inoltre si assicura che l'elica abbia un'ottima resistenza lungo gli assi più soggetti all'azione dalle forze esterne (grazie al riempimento verticale i punti di attacco dei layer saranno più resistenti alla rotazione assiale dell'elica e alle forze che impattano in maniera longitudinale sulla superficie); l'unica pecca rimane la rugosità della superficie, che ci si aspetta essere pari a circa $40\ \mu m$ al momento dell'uscita dalla macchina: anche selezionando lo spessore del layer più piccolo disponibile, l'effetto scalinatura sarà presente e con maggior forza sulle estremità (anche l'attaccatura dei supporti intacca la qualità superficiale), motivo per cui si prevede di effettuare un grande intervento di smerigliatura (con acetone o con carta vetrata) in post-processing per rispettare la threshold di rugosità assegnata (circa $20\ \mu m$). Lo spessore del layer viene impostato a $0.18\ mm$ ed il riempimento pieno per una massima robustezza. L'angolo autoportante è posto a 40° ed il tipo di supporti scelti è il BASIC senza accrescimento (la scelta deriva, come per gli altri pezzi, da test effettuati con l'obiettivo di minimizzare il tempo ed il materiale impiegato, senza intaccare la funzionalità e la resistenza della stampa).

1.3 Cam Plate

Per quanto riguarda la Cam Plate la scelta sostanzialmente è ricaduta su due possibili scenari: la disposizione orizzontale (sdraiato) che garantisce un'ottima riuscita dei 4 fori di attacco dei supporti del drone oppure la disposizione verticale (perpendicolare alla tavola) che predilige invece una miglior qualità geometrica del foro più grande dell'attacco della videocamera, tra le due si è optato per la prima favorendo la miglior riuscita di un maggior numero di attacchi funzionali (4 contro 1).

Se avessimo optato per una discreta riuscita di tutti i fori, si sarebbe dovuto inclinare il componente, il che avrebbe aumentato la necessità di supporti. Questa scelta avrebbe compromesso la qualità della superficie di attacco dei fori e avrebbe richiesto un post-processing aggiuntivo su ciascun foro.

Il riempimento viene scelto di tipo "esagramma" (un livello intermedio tra uso del materiale ed integrità strutturale) e lo spessore del layer viene posto al massimo: $0.33\ mm$ non solo per tentare di ridurre il tempo di fabbricazione (non essendo necessaria una precisione millimetrica) ma anche perché questo pezzo viene messo in tavola assieme ad altri pezzi e dunque è stata presa una decisione d'insieme.

1.4 Drone Stand

Come nel caso precedente, si pone particolare attenzione alla fabbricazione delle parti funzionali per l'assemblaggio, mentre della qualità superficiale della superficie che toccherà per terra non ci si interessa particolarmente (nonostante ciò la faccia rivolta verso il basso presenta la rugosità migliore).

Per questo componente si è tentato in un primo momento di adottare una disposizione verticale impiegando molto materiale di supporto ma a seguito di diversi test si è poi deciso di piazzarlo per orizzontale perché si è notato come la base sia il punto del drone maggiormente sollecitato dalle forze esterne, sia in fase di decollo che in fase di atterraggio, e che il punto funzionale di attacco con il resto del corpo del drone essendo non forato e dunque non necessariamente preciso al centesimo di millimetro può poggiare direttamente sulla tavola (sarà comunque oggetto di limaggio in post-processing).

Lo spessore del layer per gli stessi motivi di sopra è $0.33\ mm$ ed il riempimento viene scelto parziale (sparso con doppia densità) andando a ridurre la densità complessiva del componente mantenendone l'integrità strutturale (si è cercato dove possibile di ridurre il peso complessivo delle componenti).

1.5 Drone Base

L'orientamento migliore risulta ovviamente essere quello orizzontale rispetto all'asse x con faccia rivolta verso il basso, così da avere direzione di stampa perpendicolare rispetto ai fori per i motorini delle eliche (punto funzionale fondamentale di questo pezzo e zona maggiormente soggetta all'azione di forze esterne); in questa posizione inoltre sono minimizzate le strutture di supporto ed il tempo di

fabbricazione (rispetto alla posizione a faccia in su); da non trascurare è anche il fatto che essendo i fori grandi risulterà facile rimuovere, senza danneggiare la struttura, i supporti che si formeranno all'interno dei fori.

Viene selezionato il layer più grande possibile 0.33 mm ed un riempimento quasi vuoto (sparso) per minimizzare il tempo di fabbricazione e l'impiego di materiale, andando così a limitare dove possibile il peso complessivo dell'oggetto.

2 Processo di fabbricazione

Alla luce delle scelte fatte riguardo la progettazione delle stampe, si è deciso di impostare il processo di fabbricazione come una lavorazione in parallelo tra la macchina che si occupa della stampa in ABS e quella che si occupa della stampa in PC.

Per tutte le tavole i supporti vengono impostati con angolo autoportante a 40° e senza alcun accrescimento, in quanto a fronte di diversi test è risultata la configurazione che impiega la minor quantità di materiale (per i supporti) e che a parità di resa impiega meno tempo per la stampa.

L'idea è quella di mandare in stampa come primo gruppo di componenti in PC le eliche del drone (blades) in quanto c'è un vincolo di rugosità da rispettare ($\leq 20\mu m$) che non si è in grado (per scelte progettuali) di rispettare in maniera all'uscita del componente dalla stampante; per questo motivo tali pezzi verranno sottoposti ad una lunga e minuziosa fase di post-processing (limatura principalmente) che potrà essere svolta in parallelo al completamento delle tavole successive.

2.1 Tavola - BST768 1200es - ABS

Di fatto la scelta di stampare i pin caps ed i cam supports con la stampante Dimension BST768es è stata forzata dal fatto che tale macchina (almeno all'interno del software GrabCad) supporta solamente materiale di tipo ABS.

Poiché la macchina lo permette, vengono stampate tutti i pezzi del lotto di produzione in una sola tavola (28 pin caps e 28 cam supports) con le seguenti prestazioni:

- Tempo di stampa = 5h 34m
- Materiale utilizzato = 51.003 cm^3 di ABS P430
- Materiale di supporto utilizzato = 8.009 cm^3 di ABS P430

2.2 Tavola 1 - Fortus 360mc Large - PC

In parallelo alla stampa con BST vengono avviate le 9 stampe sequenziali nella Fortus con materiale PC (PoliCarbonato). Come si è descritto sopra, si comincia l'operazione di stampa in Fortus a partire dalle blades (per cominciare prima il post-processing): con diversi test si è concluso che la configurazione migliore non è stampare metà blade con una tavola e l'altra metà con la tavola dopo (14 e 14), bensì stampare su questa tavola 22 blades e sulla prossima le restanti (si guadagnano circa 2 ore).

Per questi motivi, sulla tavola n°1 vengono stampate 22 blade con le seguenti prestazioni:

- Tempo di stampa = 16h 55m
- Materiale utilizzato = 107.896 cm^3 di PC
- Materiale di supporto utilizzato = 101.496 cm^3 di PC

2.3 Tavola 2 - Fortus 360mc Large - PC

Sulla tavola n°2 vengono stampate le restanti 6 blades con le seguenti prestazioni:

- Tempo di stampa = 4h 55m
- Materiale utilizzato = 30.429 cm^3 di PC
- Materiale di supporto utilizzato = 37.924 cm^3 di PC

2.4 Tavola 3 - Fortus 360mc Large - PC

Una volta completato lo stock di blades e mandato intanto in post-processing, si procede con le stampe dei rimanenti componenti del drone. Seguendo un'impostazione in catena di montaggio si vuole assicurare che all'uscita di questa tavola siano pronti tutte le componenti necessarie per l'assemblaggio completo di un drone così da poter mandare avanti le task successive del processo di produzione (post-processing, assemblaggio, packaging, ...).

Sulla tavola n°3 vengono stampati 7 stand, 1 base e 7 cam plates con le seguenti prestazioni:

- Tempo di stampa = 10h 47m
- Materiale utilizzato = 438.779 cm^3 di PC
- Materiale di supporto utilizzato = 109.384 cm^3 di PC

2.5 Tavola 4 - Fortus 360mc Large - PC

A seguire, sulla tavola n°4 vengono stampati i rimanenti 7 stand ed 1 base con le seguenti prestazioni:

- Tempo di stampa = 8h 39m
- Materiale utilizzato = 333.880 cm^3 di PC
- Materiale di supporto utilizzato = 100.908 cm^3 di PC

2.6 Tavola 5,6,7,8,9 - Fortus 360mc Large - PC

Le seguenti 5 tavole sono tutte tra loro identiche: stampano ognuna solamente una base con le seguenti prestazioni:

- Tempo di stampa: 6h 47m
- Materiale utilizzato: 268.239 cm^3 di PC
- Materiale di supporto utilizzato: 84.808 cm^3 di PC

3 Considerazioni finali

Il processo di progettazione e fabbricazione delle componenti del drone ha richiesto una serie di decisioni ponderate, mirate a garantire standard qualitativi elevati, massimizzare l'efficienza produttiva e rispettare gli obiettivi di sostenibilità. L'implementazione dei modelli .stl all'interno del software GrabCad è stata guidata da criteri specifici, evidenziando la nostra attenzione alla funzionalità, geometria, superficie e tempo di fabbricazione.

Le prestazioni complessive del processo sono risultate soddisfacenti, con una stima delle tempistiche e del materiale totale utilizzato come segue:

- Tempo totale stampa $\simeq 80\text{h } 21\text{m} = 3\text{g } 8\text{h } 21\text{m}$
- Totale ABS utilizzato $\simeq 58.012 \text{ cm}^3$
- Totale PC utilizzato $\simeq 3030.931 \text{ cm}^3 \simeq 3 \text{ dm}^3$

Questi risultati testimoniano l'efficacia delle scelte progettuali e l'ottimizzazione del processo di fabbricazione, che ha permesso di raggiungere gli standard di qualità desiderati con un utilizzo efficiente di materiali e tempi di produzione. La ricerca di un equilibrio tra funzionalità, efficienza e sostenibilità ha guidato con successo ogni fase del progetto, culminando nella realizzazione di componenti di drone di alta qualità.

4 Immagini

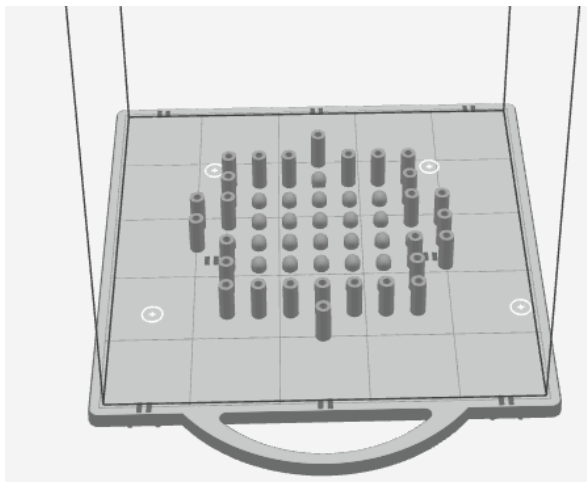


Figure 1: 28 pin caps e 28 cam supports in vassoio.

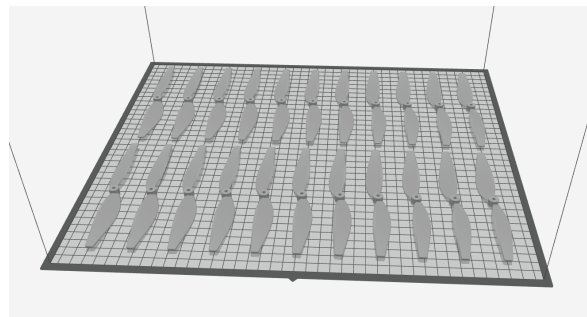


Figure 2: 22 blades in vassoio.

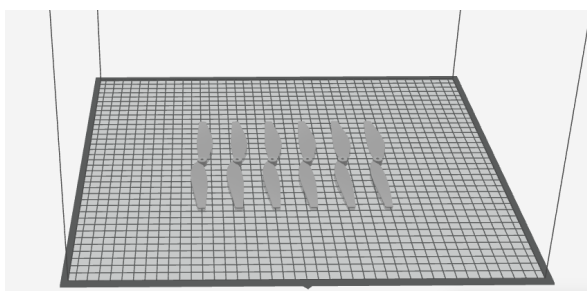


Figure 3: 6 blades in vassoio.

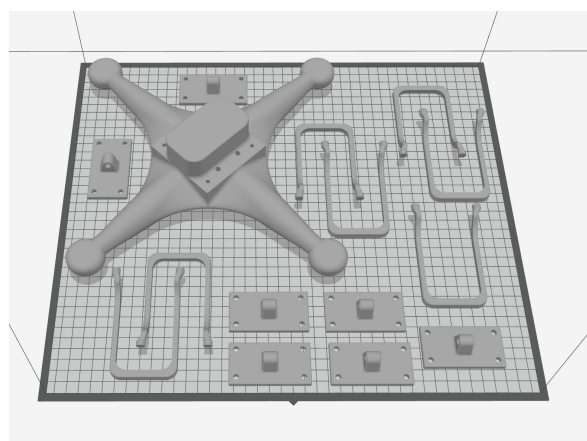


Figure 4: 7 stand, 1 base e 7 cam plates in vassoio.

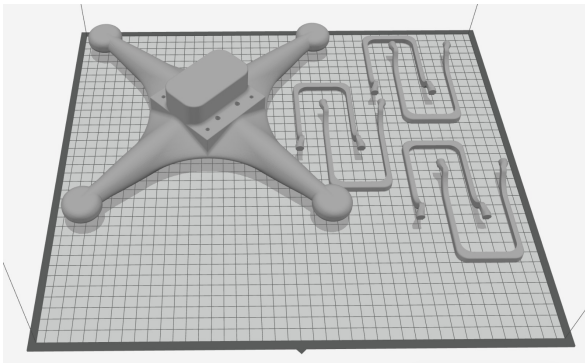


Figure 5: 1 base e 7 stand in vassoio.

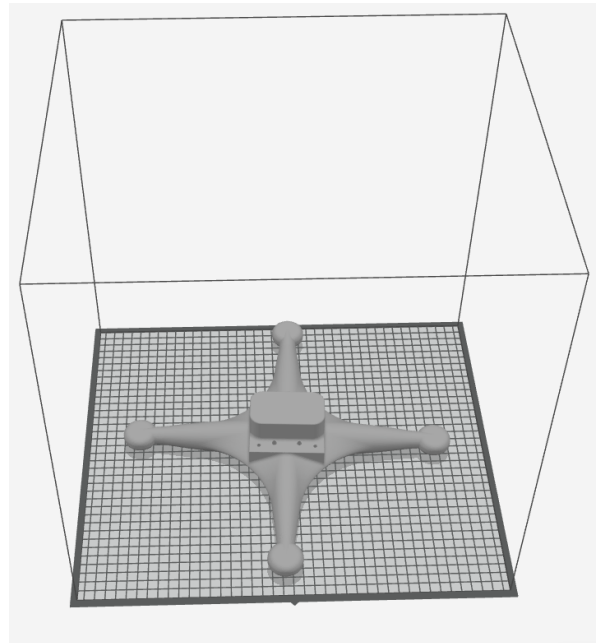


Figure 6: 1 base in vassoio.