

ALMA MATER STUDIORUM- UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI - DICAM

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN

ADVANCED DESIGN

TESI DI LAUREA

in Advanced Design

APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA DIC E DELL'OTTIMIZZAZIONE TOPOLOGICA PER LO
SVILUPPO DI UN BASEPLATE DI UN INNOVATIVO ATTACCO DA SNOWBOARD

CANDIDATO:

Benno Zingerle

RELATORE:

Prof. Martino Colonna

Prof.ssa Paola Fabbri

Anno Accademico 2018/19

Sessione II

Abstract

Lo snowboarding è uno sport invernale che consiste nello scendere una pendenza innevata utilizzando una tavola, alla quale l'atleta è connesso tramite degli attacchi che permettono il controllo durante la discesa. Il baseplate, che è l'elemento strutturale dell'attacco, mostra alcune problematiche nello sviluppo, in quanto è difficile prevederne le sollecitazioni e il comportamento durante l'utilizzo sul campo. Questo risulta in prodotti poco rigidi con campi di tensione localmente concentrati e poco opportuni. L'obiettivo di questo elaborato di tesi è stato quindi di creare un baseplate per un attacco da snowboard più rigido e più leggero e che durante lo svolgimento dello sport venga sollecitato in modo uniforme. Per ottenere questo obiettivo è stato creato un approccio innovativo di product development per lo sviluppo di prodotti con funzionalità strutturale. L'approccio prevede come prima fase un'analisi della deformazione con la tecnologia DIC (Digital Image Correlation) di un prodotto già esistente, sotto condizioni reali, per capire come viene sollecitato. Nella seconda fase è stata individuata, attraverso la simulazione FEM (Finite Element Method) e l'ottimizzazione topologica, la geometria approssimativa dell'oggetto con una distribuzione di tensioni più uniforme. Questa è stata poi utilizzata come punto di partenza per la seguente modellazione CAD (Computer-Aided Design). L'ultimo step è stato lo stampaggio 3D di un prototipo funzionale che è stato poi nuovamente analizzato attraverso la tecnologia DIC per valutare il risultato della modellazione. Per controllare l'affidabilità e per validare l'analisi con la tecnologia DIC, sono stati confrontati più sistemi di produttori diversi. Inoltre, sono stati analizzati due attacchi con geometria uguale, uno stampato ad iniezione e uno stampato con la stampante 3D, per vedere come cambia il comportamento in base al metodo di produzione e per poi poter valutare i risultati dell'analisi del prototipo. L'approccio innovativo di product development è risultato valido in quanto ha permesso di realizzare un prototipo di un baseplate di un attacco snowboard con prestazioni meccaniche migliori, peso minore ed un design innovativo.

Glossario e simboli utilizzati

Abbreviazioni:

DIC	Digital image correlation
FEM	Finite element method (metodo degli elementi finiti)
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CAD	Computer-Aided Design
CNC	Computerized Numerical Control
FDM	Fused Deposition Modeling
SLA	Stereolitografia
SLS	Selective Laser Sintering
MJF	Multi Jet Fusion

Simboli grechi:

ε	[]	Deformazione ingegneristica
α	[°]	Angolo compreso tra cavo e gamba
β	[°]	Angolo compreso tra piano e cavo
γ	[°]	Angolo compreso tra piano e gamba

Simboli latini:

Δl	[mm]	Aumento o diminuzione di lunghezza
l_0	[mm]	Lunghezza iniziale
l	[mm]	Lunghezza finale
a	[mm]	Lato compreso tra caviglia e puleggia
b	[mm]	Lunghezza della gamba tra caviglia e ginocchio
c	[mm]	Lato compreso tra ginocchio e puleggia

c_0	[mm]	Lunghezza iniziale del lato c
c_{spost}	[mm]	Tratto percorso del dinamometro
v	[mm/min]	Velocità del dinamometro
t	[s]	Tempo
M	[Nm]	Momento torcente nella caviglia
F	[N]	Forza che agisce in perpendicolare all'asse della gamba
F_m	[N]	Forza misurata della cella di carico

Indice

Abstract	II
Glossario e simboli utilizzati	III
1 Introduzione	1
1.1 Lo snowboard.....	1
1.2 Storia dello sport con focale sugli attacchi	1
1.3 I due stili e l'attrezzatura moderna.....	3
1.4 Il materiale degli attacchi.....	7
1.5 Lo sviluppo di nuovi attacchi.....	9
1.6 Nuove tecnologie e possibilità	9
1.7 Tecnologie di analisi strutturali.....	9
1.8 L'ottimizzazione topologica	13
1.9 La stampa 3D.....	15
2 Scopo	18
2.1 Approccio sperimentale	18
2.1 Strumenti, software e attrezzature utilizzati	20
3 Calcolo della forza e del momento applicato.....	23
4 Confronto dei vari sistemi DIC.....	25
4.1 I sistemi testati	25
4.2 Confronto risultati.....	25
4.3 Discussione.....	30
5 Confronto tra baseplate stampato ad iniezione e baseplate stampato con la stampante 3D	32
5.1 Dorsiflexion deformazione asse X.....	33
5.2 Dorsiflexion deformazione asse Y.....	34
5.3 Plantarflexion deformazione asse X.....	35
5.4 Plantarflexion deformazione asse Y.....	36
5.5 Conclusione.....	36
6 Sviluppo del baseplate	37

6.1	Attrezzatura utilizzata per effettuare le analisi	37
6.2	Analisi strutturali con la tecnologia della Digital Image Correlation (DIC) di un attacco disponibile sul mercato	38
6.3	Analisi strutturali con la tecnica degli elementi finiti (FEM) sullo stesso attacco .	45
6.4	Definizione dello spazio di progettazione.....	48
6.5	Ottimizzazione topologica	50
6.6	Modellazione.....	51
6.7	Realizzazione del prototipo.....	57
6.8	Risultati delle performance con analisi FEM	58
6.9	Performance del prototipo	69
7	Conclusione e sviluppi futuri	74
	Indice delle figure	75
	Elenco delle tabelle	79
	Bibliografia.....	80
	Allegato.....	83
1	Dati tecnici materiale Akulon K224 – PG6	83
2	Dati tecnici HP 3D High Reusability PA 12.....	85
3	Risultati prove meccaniche HP 3D High Reusability PA 12	87
4	Dati tecnici Luchsinger VIC-3D HR:.....	89
5	Dati tecnici Dantec Dynamics Q-400 3D:	97
6	Dati tecnici GOM ARAMIS SRX 3D:.....	99
7	Dati tecnici Sony alpha 6300:	100
8	Dati tecnici ottica Schneider Kreuznach Xenoplan 1.4/17:.....	105

1 Introduzione

1.1 Lo snowboard

Lo snowboard è uno sport che, in modo simile allo sci alpino, si basa sul percorrere una pendenza innevata in discesa. A differenza dello sci alpino, nello snowboarding si ha una superficie unica a contatto con la neve, la tavola. Questa tavola è fissata attraverso degli attacchi agli scarponi dello snowboarder.

1.2 Storia dello sport con focale sugli attacchi

È difficile stabilire una data precisa di quando è stato scoperto, e da chi è stato inventato, lo snowboard come sport invernale. Da sempre l'uomo ha cercato diversi modi per scendere le



Figura 1: Foglio pubblicitario per il Snurfer (Vintagewinter)

montagne innevate, o con slitte o con sci, soprattutto per risparmiare tempo e fatica. La prima tavola che ha similarità alle tavole moderne da snowboard è stata sviluppata e costruita nel 1965 dall'ingegnere chimico Sherman Poppen del Michigan negli Stati Uniti. Questa prima tavola, chiamata Snurfer (dall'incrocio delle due parole inglesi snow (=neve) e surfer) (Wikipedia - Snurfer), come design è appoggiata alla tavola da surf e non aveva ancora nessun tipo di attacco (Realsnow - Storia snowboard). Per permettere all'utilizzatore un maggior controllo sulla tavola, sulla punta è stata fissata una corda. Anche se sono stati venduti oltre mezzo milione di queste tavole, è stato visto principalmente come un "giocattolo per bambini" (Wikipedia -

Snowboard). Nonostante questo, l'inventore ha organizzato competizioni per attirare l'attenzione ad un pubblico più adulto, ed è successo così, che i partecipanti alle competizioni stessi, man mano, hanno sviluppato le loro tavole per avere un vantaggio nelle gare e hanno portato così lo sport a livelli sempre più alti. Un problema fondamentale del Snurfer era lo scarso controllo della tavola, che è stato risolto con l'aggiunta di due strap, realizzate da una camera d'aria. È nato così il primo attacco nella prima parte degli anni 70.



Figura 2: Burton Performer del 1984 (Retrosnow)

la “Performa Elite” con lamina in acciaio e base in P-Tex (The House - Burton history). Quasi contemporaneamente è stato creato, dagli inventori Jeff Grell and Louis Fournier, una specie di spoiler posteriore per l’attacco che dava un feeling ed una risposta molto maggiore (Medium).

Anche la “Burton Snowboards” ha sviluppato a metà degli anni 80 un attacco in materiale plastico, stampato ad iniezione con un highback e due strap regolabili.

Nella foto a fianco si vede la tavola top di gamma “Performer” dell’azienda “Burton Snowboards”, fondata pochi anni prima nel 1977 da Jake Burton Carpenter. È stato lui, uno dei primi a curare in particolare l’attacco di quello che era ormai chiamato da tutti snowboard. Infatti, nell’immagine si vede già una versione migliorata del semplice strap in gomma, che ha già una specie di cintura che blocca il piede all’interno dello strap (Realsnow - timeline dal 1980 al 1990). A quel tempo, lo snowboard era pensato per scendere soprattutto sulla neve fresca, non battuta. È stato di nuovo Jake Burton Carpenter, nel 1984, a innovare lo snowboard, prendendo spunti dall’industria sciistica. Per poter praticare questo nuovo sport anche sui terreni accidentati degli sci-resort, Jake ha sviluppato



Figura 3: Primo attacco con highback (Medium)



Figura 4: Primo attacco con highback della "Burton" del 1987 (Michigan Snowboard Museum)

L'attacco in figura 4 era già molto simile all'attacco moderno, ma siccome l'intero attacco era un unico stampo, l'highback era molto ingombrante e anche gli strap non offrivano ancora

una buona stabilità. Negli anni successivi questi problemi sono stati rimossi realizzando un attacco a due pezzi con highback pieghevole e strap che si potevano stringere attraverso una striscia dentata e dei cricchetti.



Figura 5: Attacco Burton con highback a rimbalzo e strap con cricchetti del 1990 (Saltypeaks)

Contemporaneamente, il gap tra lo stile più freestyle e quello più da gara è diventato sempre più grande, con la conseguenza che anche l'attrezzatura si è divisa per stili, lo stile soft (freestyle e freeride) e lo stile hard (race), spiegati di seguito.

L'attacco soft moderno è il frutto di un continuo miglioramento di quello che si vede nella figura 5, mentre l'attacco hard è stato completamente ripensato per avere il massimo rendimento in gara.

1.3 I due stili e l'attrezzatura moderna

Come scritto in precedenza nel corso degli anni si sono creati due stili all'interno di questo sport, che hanno bisogno di attrezzature completamente diverse. Uno è lo stile hard, che implica un'attrezzatura rigida. La tavola unidirezionale in questo caso è fissata a degli scarponi rigidi, simili a quelli per lo sci alpino, attraverso degli attacchi il più possibile rigidi. Questo stile è praticato sulle piste battute. Sull'altro lato c'è lo stile soft, che è quello, sul quale è concentrato questo lavoro di tesi. Lo stile soft si suddivide in stile freestyle, dove l'obiettivo è

quello di fare delle manovre in aria o su degli ostacoli, e stile freeride, che consiste nello scendere sulla neve fresca ma anche sulle piste battute. L'attrezzatura è simile per entrambi i sotto-stili e consiste di una tavola flessibile e bidirezionale, scarponi cedevoli e deformabili e attacchi permissivi e tendenzialmente elastici.

1.3.1 Attrezzatura dello stile hard



La tavola di stile hard è di solito abbastanza dura. La sua forma è stretta, ha di solito un raggio di sciancratura piccolo ed è directional, cioè la direzione di discesa rimane sempre la stessa. Questo tipo di tavola permette di andare a velocità elevate con ottima trazione anche in curva.

Figura 6: Tavola stile hard (Sg Snowboards)



Lo scarpone assomiglia a quello per lo sci alpino, sia esteticamente che per la sua funzione. È fatto da delle scocche plastiche rigide e permette così un controllo molto diretto della tavola.

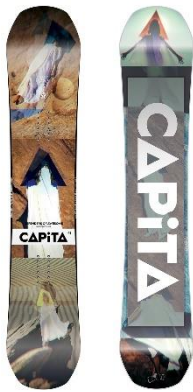
Figura 7: Scarpone stile hard (Donek, 2019)



L'attacco dello stile hard è formato dal baseplate che viene fissato attraverso dei bulloni sulla tavola e ha due archi metallici, uno di questi con una leva in plastica, che si agganciano negli appositi incastri dello scarpone. Una volta fissato lo scarpone, questo rimane bloccato finché uno non apre l'attacco con la leva.

Figura 8: Attacco stile hard (Fun sport vision, 2019)

1.3.2 Attrezzatura dello stile soft



La tavola soft è più larga e di forma bidirezionale, cioè guidabile in entrambe le direzioni. La larghezza elevata permette la galleggiabilità sulla neve fresca.

Figura 9: Tavola stile soft (Evo)



Lo scarpone soft in differenza a quello hard non ha una scocca rigida. La parte esterna, chiamata shell, è fatta da diversi tessuti tecnici cuciti insieme e permette così deformazioni maggiori. Questo permette di assorbire i colpi dati per esempio dall'atterraggio dopo un salto e offre in generale un grado di maggiore confort.

Figura 10: Scarpone stile soft (Skiis and Biikes)

Dall'attacco storico presentato sopra all'attacco moderno di oggi sono stati migliorati soprattutto l'affidabilità di tutti i componenti, il comfort, attraverso forme più ergonomiche ed elementi morbidi nelle zone di pressione, e la capacità di smorzare colpi. Gli attacchi moderni hanno degli strap molto larghi e spesso ricoperti da un materiale morbido e dalla zeppa (footbed) tendenzialmente più spessa e fatta in materiale smorzante.

Nello stile soft, l'attacco non ha il solo compito di fissare il rider sulla tavola, ma deve garantire una certa flessibilità e avere delle capacità smorzanti. Queste proprietà permettono al rider di muoversi in maniera più libera e per minimizzare le forze che agiscono sul corpo umano derivanti da salti o colpi. L'attacco di fatto è diventato un elemento chiave e molto complesso nella quotidianità di questo sport. Attualmente sono presenti principalmente tre tipi di attacchi per lo stile soft, il modello tradizionale con due strap che si stringono attraverso dei cricchetti, il modello rear-entry, nel quale si entra con lo scarpone da dietro, abbassando lo highback, e il modello step-in che non ha elementi che avvolgono lo scarpone, ma questo viene fissato alla tavola attraverso degli incastri presenti sulla suola.



Figura 11: Attacco stile soft modello tradizionale (The House - Union)

L'attacco che vediamo nella foto accanto è il modello tradizionale e allo stesso tempo anche quello più diffuso. Consiste da quattro elementi essenziali, il baseplate, che è la base dell'attacco che viene fissata allo snowboard, l'highback, che garantisce la giusta reattività durante le curve sui talloni, e i due strap con le corrispondenti linguette e cricchetti per allacciare lo scarpone all'attacco stesso. Anche se questa tecnologia è la più vecchia è ancora la più diffusa e più apprezzata dai rider, perché offre tante possibilità di regolazione e lo rende così anche il più performante (Pazi, 2016/17).



Figura 12: Attacco stile soft modello rear-entry (Flow Bindings)

L'attacco rear-entry elimina la necessità di dovere stringere gli strap prima di ogni utilizzo, in quanto vengono aggiustati una volta e poi si entra ed esce abbassando l'highback con l'apposita leva (Pazi, 2016/17). Anche se comodo, questo modello ha alcuni svantaggi. In pratica gli strap devono comunque essere aggiustati più spesso perché basta una piccola quantità di neve che si infila nella zona dove di solito sta lo scarpone e il fitting non è più lo stesso. Questo lo rende anche poco pratico nell'utilizzo nella neve profonda. Inoltre, il meccanismo che permette di abbassare l'highback è un po' macchinoso e rende una riparazione più complicata (Realsnow - Attacchi snowboard).



Figura 13: Attacco stile soft modello step on (Zero g Chamoinx)

L'ultimo tipo di attacchi è il modello chiamato step on recentemente sviluppato dell'azienda "Burton Snowboards", che in pratica elimina completamente gli strap e permette una connessione tra attacco e scarpone attraverso appositi incastri. Lo scarpone ovviamente dev'essere progettato per l'uso di questo sistema. I vantaggi più importanti sono l'accesso veloce senza il bisogno di piegarsi e una trasmissione delle forze più diretta. Questo approccio per fissare lo scarpone sulla tavola comunque non è nuovo ed esistevano già prodotti simili nel passato chiamati step in che però sono spariti negli ultimi anni (Pazi, 2016/17). Il futuro farà vedere se

la "Burton Snowboards" è stata in grado di eliminare gli svantaggi degli attacchi passati. Secondo un mio parere gli attacchi step in rimangono sempre un prodotto di nicchia perché alcuni svantaggi sono difficili da risolvere, tra qui la scarsa compatibilità (l'attacco funziona

solo con l'apposito scarpone) e il fatto che l'attacco diventa inutilizzabile una volta che neve si trova sul footbed, la zona dove alloggia lo scarpone (Beobachter, 2019).

1.4 Il materiale degli attacchi

La scelta del materiale per realizzare un attacco snowboard non è di fatto facile. L'ambiente nel quale deve "lavorare" è piuttosto aggressivo per il materiale, perché deve resistere sia ai carichi derivanti dall'uso, agli agenti ambientali come l'acqua e i raggi UV e tutto questo in un range di temperatura che è spesso sotto gli zero gradi Celsius. Oggigiorno la maggior parte degli attacchi è fatto in materiale composito con una matrice in polimero con vari tipi di fibre, come fibra di vetro o carbonio, che fanno da rinforzo. La matrice di solito è una poliammide, anche conosciuta come Nylon, un nome che deriva dall'azienda americana DuPont che per prima ha prodotto questo materiale. Alcuni produttori, sono in pochi sul mercato, utilizzano anche l'alluminio per realizzare il baseplate.

Il Nylon è un polimero ingegneristico molto cristallino, altofondente ($T_m=180-260^\circ\text{C}$) e resistente alle abrasioni. Si può aggiungere con fibre di vetro o carbonio (10-30%) per avere enormi miglioramenti delle proprietà meccaniche. Il Nylon 6.6, il Nylon 6 e il copolimero Nylon 6/6.6 sono i materiali più usati per realizzare gli attacchi. In particolare, hanno un alto modulo elastico e sono relativamente economici. Tutti e tre sono adatti per lo stampaggio a iniezione poiché sono semicristallini ma cristallizzano molto velocemente.

Un altro materiale che negli ultimi anni trova un suo posto all'interno dello sviluppo di attacchi è il nylon stampato con la stampante 3D. Anche se alla base il materiale stampato è un Nylon 12, le sue proprietà meccaniche variano leggermente proprio a causa del processo di stampaggio. Mentre nello stampaggio ad iniezione il materiale viene iniettato ad elevata pressione nello stampo, eliminando praticamente ogni cavità all'interno dell'oggetto, nella stampa 3D il materiale viene depositato senza l'applicazione di forza con la conseguenza di una morfologia porosa. Queste microcavità possono provocare un comportamento a rottura fragile. Lo stesso identico materiale stampato con la stampante 3D è quindi meno performante all'impatto. Il materiale Nylon 12 stampato con la stampante 3D è stato scelto per realizzare il prototipo, frutto di questo lavoro, in quanto presenta le caratteristiche più simili a quello dei materiali utilizzati nella stampa a iniezione.

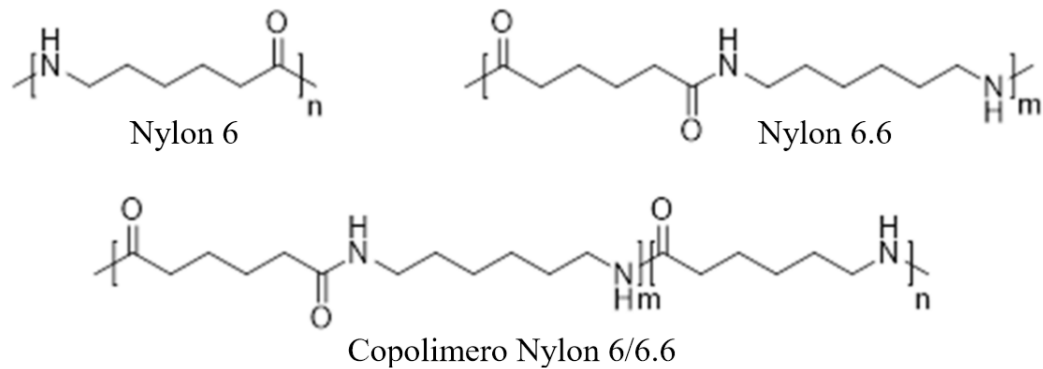


Figura 14: Formule di struttura del Nylon 6, Nylon 6.6 ed il copolimero dei due precedenti (Pazi, 2016/17)

Nella seguente tabella si vedono le principali proprietà meccaniche dei materiali più comunemente utilizzati. Quello che si nota è che nella fase di valutazione dei risultati delle prove sul prototipo sarà da considerare è che il materiale stampato con la stampante 3D ha un modulo elastico nettamente più basso in confronto agli altri Nylon. I valori riportati in tabella possono variare a seconda della temperatura e dell'umidità. I valori per il Nylon stampato sono stati ottenuti da prove fatte in laboratorio con provini realizzati con la stampante 3D e con il materiale uguale a quello utilizzato per realizzare il prototipo finale.

Tipo di Nylon	Densità [g/cm ³]	Modulo elastico [GPa]	Tensione di rottura [MPa]
Nylon 6	1.07	2.00	50
Nylon 6.6	1.16	1.99	45
Nylon6/6.6	1.13	3.60	72
Nylon stampato in 3D	/	0.92	40

Tabella 1: Proprietà meccaniche della matrice e del materiale stampato con la stampante 3D (Sargom) (Uciesse) (Resinex)

Come scritto prima, il Nylon può essere caricato con fibre per aumentare le proprietà meccaniche del materiale senza impattare troppo sulla densità. In particolare, aumentano la loro resistenza allo snervamento e la loro rigidità in base alla quantità di fibra che viene caricata. Le fibre principalmente utilizzati sono le fibre di vetro (GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer)) e quelle in carbonio (CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)). Nella tabella sottostante sono riportate le due fibre principali con le loro caratteristiche meccaniche.

Tipo di fibra	Densità [g/cm ³]	Modulo elastico [GPa]	Tensione di rottura [GPa]
Vetro	2.58	72.5	3.5
Carbonio	1.78-2.15	228-724	1.5-4.8

Tabella 2: Proprietà meccaniche delle fibre utilizzate per la produzione di attacchi (W. D. Callister, 2014)

1.5 Lo sviluppo di nuovi attacchi

Per un'azienda che si occupa dello sviluppo di attacchi è difficile prevedere il comportamento sul campo di un prodotto, ancora in fase di sviluppo, proprio per la sua complessità. Questo, collegato al fatto che gli stampi per stampare a iniezione i componenti dell'attacco hanno elevati costi fissi, crea costi e insicurezze elevati alle aziende. Esistono però diversi approcci, che vengono descritti di seguito, per abbassare i costi di sviluppo e le insicurezze.

1.6 Nuove tecnologie e possibilità

Il mondo industriale di oggi offre una vasta gamma di strumenti sia per l'analisi di componenti che per la produzione e per la prototipazione. Con l'aiuto di computer e strumenti sempre più precisi e versatili è possibile anticipare gran parte del testing nella fase di modellazione digitale. La prova sul campo resta però ancora il test finale per approvare un nuovo prodotto. Qui entrano le nuove tecnologie di prototipazione rapida e come esempio parade la stampa 3D, la quale permette di stampare qualsiasi geometria possibile a costi bassi (per pochi pezzi). Con certe tecnologie di stampa è possibile stampare prodotti che mostrano proprietà molto simili a quelli, prodotti con i comuni metodi di produzione industriale e permettono anche lo testing sul campo. Lo scopo di questo lavoro sta' proprio nel combinare queste due tecnologie in maniera più opportuna.

1.7 Tecnologie di analisi strutturali

L'attacco da snowboard, essendo l'oggetto che collega il rider con la tavola, viene sollecitato da diverse forze che comportano una deformazione dello stesso. L'insieme di tavola, scarpone e attacco crea un sistema con tantissime variabili, ed è piuttosto difficile prevedere il suo comportamento sul campo. Per fortuna il mondo industriale offre diverse soluzioni per analizzare la deformazione di oggetti sotto diversi sforzi.

1.7.1 La Digital Image Correlation (DIC)

La tecnologia DIC è una tecnica di analisi strutturale ottica, distruttiva o non distruttiva, che si basa sulla comparazione di immagini digitali rappresentanti l'oggetto da analizzare sottoposto uno o più carichi e che non ha il bisogno di un contatto diretto con il campione. Il software è in grado di correlare le immagini a delle deformazioni superficiali del campione. A differenza con tecniche di analisi numerica, come per esempio l'analisi FEM, questa viene applicata direttamente sul prodotto reale e ha così un'affidabilità elevata. È inoltre possibile applicare carichi molto vicini alla realtà, come avviene anche nelle analisi effettuate in questo progetto. In base alla complessità della geometria dell'oggetto da analizzare, la tecnologia DIC può avere grandi vantaggi in termini di tempo impiegato.

Per poter analizzare un prodotto è necessario applicare dei punti di riferimento o un pattern stocastico, che permette al software di creare una geometria di riferimento. L'analisi

attraverso punti di riferimento è un po' limitante in quanto il numero di punti è di solito basso e viene analizzata solo la deformazione tra i punti, ottenendo un risultato più mediato. Per questo lavoro è stato scelto di utilizzare un pattern stocastico, perché permette informazioni più dettagliate anche sulle deformazioni locali. Il pattern stocastico non è altro che un insieme di punti ben definiti e visibili disposti in maniera il più unico e causale possibile sulla superficie dell'oggetto da analizzare. Per iniziare l'analisi, il software ha bisogno di un'immagine dell'oggetto non deformato, da utilizzare come riferimento per quantificare le deformazioni, e sul quale definisce il sistema geometrico attraverso l'applicazione di indicatori di forma inizialmente quadrata, chiamati facet (Pazi, 2016/17).

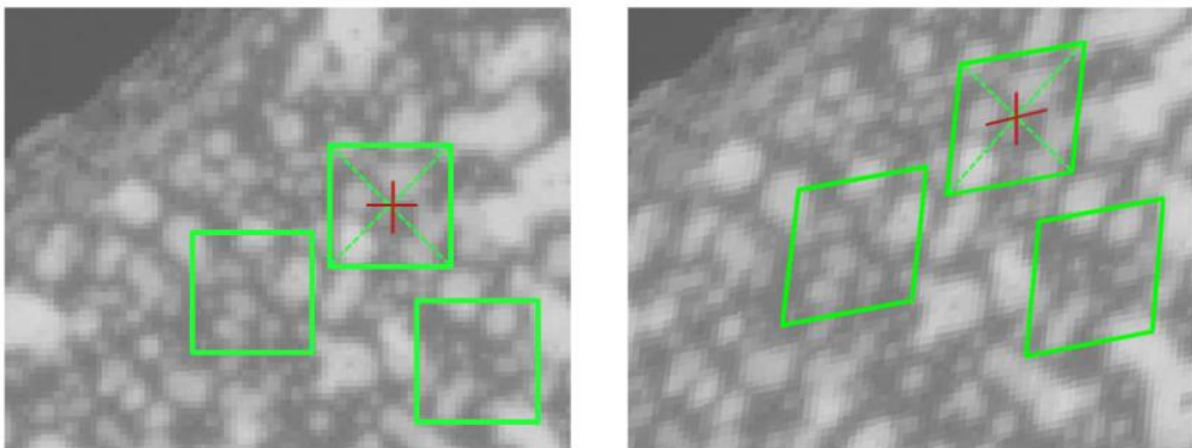


Figura 15: Facet non deformati a sinistra, deformati a destra (GOM)

La deformazione del campione sottoposto a dei carichi si traduce in una deformazione dei facet come si vede nell'immagine 15 a destra. Il software correla la deformazione dei facet alla deformazione del campione.

Con la tecnologia DIC possono essere confrontati immagini bidimensionale e tridimensionali, in base alle esigenze. Se l'oggetto in questione ha soprattutto superfici in perpendicolare all'asse della fotocamera da analizzare, basta un'analisi bidimensionale. Se invece l'oggetto presenta geometrie più complesse e inoltre subisce anche deformazioni lungo l'asse della fotocamera, come avviene nelle analisi di questa tesi, bisogna considerare l'analisi tridimensionale. La differenza nella strumentazione tra un'analisi bidimensionale e tridimensionale è che quest'ultima necessita di due fotocamere per poter triangolare i punti sulla superficie dell'oggetto.

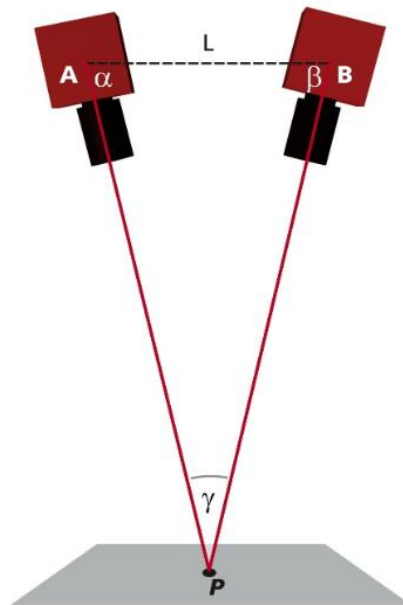


Figura 16: Principio della triangolazione (GOM)

Per la triangolazione di un punto sulla superficie il software dev'essere prima calibrato con un apposito target di calibrazione. Il software è così in grado di individuare la posizione e l'orientamento delle fotocamere come anche possibili distorsioni causati dall'obiettivo o del sensore (GOM).

Nel nostro caso, l'attacco è stato verniciato con colore bianco, il pattern è stato applicato con una bomboletta nera. Le telecamere devono essere fissate in maniera da non subire movimenti durante la prova. Per aumentare la qualità delle analisi, una buona illuminazione è fondamentale.

In una prima fase sono stati comparati diversi sistemi a due e tre dimensioni che usano la tecnica DIC. Di seguito vengono descritti i sistemi utilizzati e le loro caratteristiche.

1.7.2 Il Metodo degli Elementi Finiti (FEM)

A differenza della tecnica DIC che viene applicata sull'oggetto vero e proprio, il metodo degli elementi finiti (abbreviato FEM) è una tecnica numerica che cerca una soluzione approssimata di problemi descritti da equazioni. Con la tecnologia FEM è possibile fare previsioni sul comportamento strutturale di un modello digitale sotto il carico di forze. Per arrivare a un'analisi strutturale di un oggetto, si parte da un modello. Per risparmiare risorse e tempo che aumentano notevolmente con la complessità geometrica, questo modello a volte è una semplificazione del modello originario.

Una volta definito il modello, esso viene suddiviso in un numero finito di elementi di forma definita e dimensione contenuta. La dimensione di questi elementi, più diventa piccola, più aumenta la risoluzione dell'analisi e il tempo di calcolo. La griglia composta da questi elementi

viene chiamata mesh. Tutti questi elementi sono collegati fra di loro attraverso dei nodi, i quali idealizzano anche la geometria dell'oggetto se vengono messi in punti caratteristici. Gli elementi si scambiano azioni solo tramite i nodi. Questa prima fase si chiama discretizzazione. All'interno degli elementi si assumono andamenti semplici di spostamenti e deformazioni che dipendono dal materiale impostato. Tra i nodi si impongono condizioni di continuità degli spostamenti. Il risultato è un problema strutturale iperstatico. Una possibile risoluzione di questo problema è il metodo delle deformazioni, dove gli spostamenti dei nodi sono le incognite, che però non viene approfondito in questo lavoro di tesi. In seguito si cerca una soluzione approssimata dell'equazione differenziale attraverso un sistema di equazioni algebriche. Le equazioni vengono riordinate in un sistema globale dove si impone l'equilibrio di tutti i nodi, la continuità degli spostamenti alle interfacce e le condizioni al contorno. Il sistema globale viene risolto attraverso l'algebra matriciale (Agostinis, 2017/18). L'analisi FEM si suddivide in tre fasi, il così detto preprocessing, che termina con la discretizzazione, la seconda fase è quella dove il *solver* risolve il problema matematico, seguito dall'ultima fase, il postprocessing. Nella fase di postprocessing, il software visualizza i risultati del *solver* in maniera grafica e permette così al progettista di ottenere informazioni sui campi di deformazione e tensione così come anche sugli spostamenti (finiten).

1.7.3 La deformazione ingegneristica

In questo lavoro, quando si parla di deformazioni, si intende la così detta deformazione ingegneristica che si calcola con la seguente formula:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Con:

$$\Delta l = l - l_0$$

ε = deformazione ingegneristica

Δl = aumento o diminuzione di lunghezza

l_0 = lunghezza iniziale

l = lunghezza finale

La deformazione ε non ha unità ed è positiva per allungamenti e negativa nel caso di compressione.

1.8 L'ottimizzazione topologica

Il compito di un progettista tante volte è quello di sviluppare un prodotto che è in grado di svolgere uno o più compiti. Nella gran parte delle volte questo oggetto deve avere certe prestazioni meccaniche, come per esempio una rigidità minima, un peso massimo o una certa resistenza, oppure è limitato nella sua estensione e spesso deve interfacciarsi con altri oggetti attraverso dei fissaggi. Dall'altra parte il progettista deve considerare i metodi di produzione collegati al materiale. Il suo compito sta quindi nel trovare una forma che è in grado di soddisfare tutti questi bisogni, all'interno del volume di progettazione, in maniera più opportuna. Per arrivare a questa forma, si può servire della sua esperienza, del benchmark con altri prodotti o può considerare l'ottimizzazione topologica (SmartCAE). L'ottimizzazione topologica non è altro che una tecnica di simulazione numerica che permette di ottenere indicazioni sulla disposizione delle ossature portanti di un pezzo, disposto a resistere a determinati carichi. In altre parole, determina all'interno del volume di progettazione, quali zone del volume sono necessarie e quali no per raggiungere l'obiettivo. Il risultato è spesso una componente con una geometria molto organica e una riduzione del peso anche del 60-70% a parità di prestazioni (3DRAP).

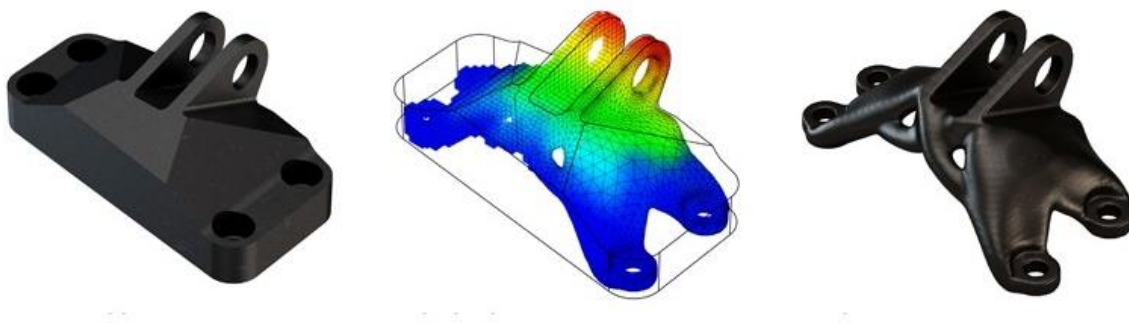


Figura 17: Esempio di un componente prima e dopo l'ottimizzazione topologica (Metrology News)

L'ottimizzazione topologica parte da un volume di ingombro massimo, che definisce il campo, sul quale il software potrà agire. Il progettista poi imposta i carichi che agiscono sul componente ed eventuali elementi di interfaccia come per esempio buchi o superfici. Questi carichi sono o conosciuti da diverse analisi preliminari o devono essere presunti dal progettista in base alle sue esperienze. Zone in vicinanza di elementi di interfaccia possono essere esclusi dal volume di simulazione per garantire la loro integrità. Una volta definiti i parametri strutturali e le condizioni al contorno, il software suddivide il volume in un numero finito di elementi creando così un reticolo, chiamato mesh, analogo a come viene fatto nell'analisi FEM. In effetti, nella fase successiva viene fatta un'analisi FEM per individuare i campi di tensione sotto i carichi prima stabiliti. Da qui parte l'effettiva ottimizzazione topologica, i cui target possono essere diversi. Un possibile target può essere quello di massimizzare la

rigidezza del componente o come è nel nostro caso la riduzione del peso/volume a parità di rigidezza. Definito il target, l'ottimizzatore, in modo iterativo, rimuove o ridistribuisce il materiale dello spazio di progettazione che ha un contributo trascurabile alle prestazioni target del componente. Quest'ultimo processo viene ripetuto fino ad arrivare al volume predefinito.

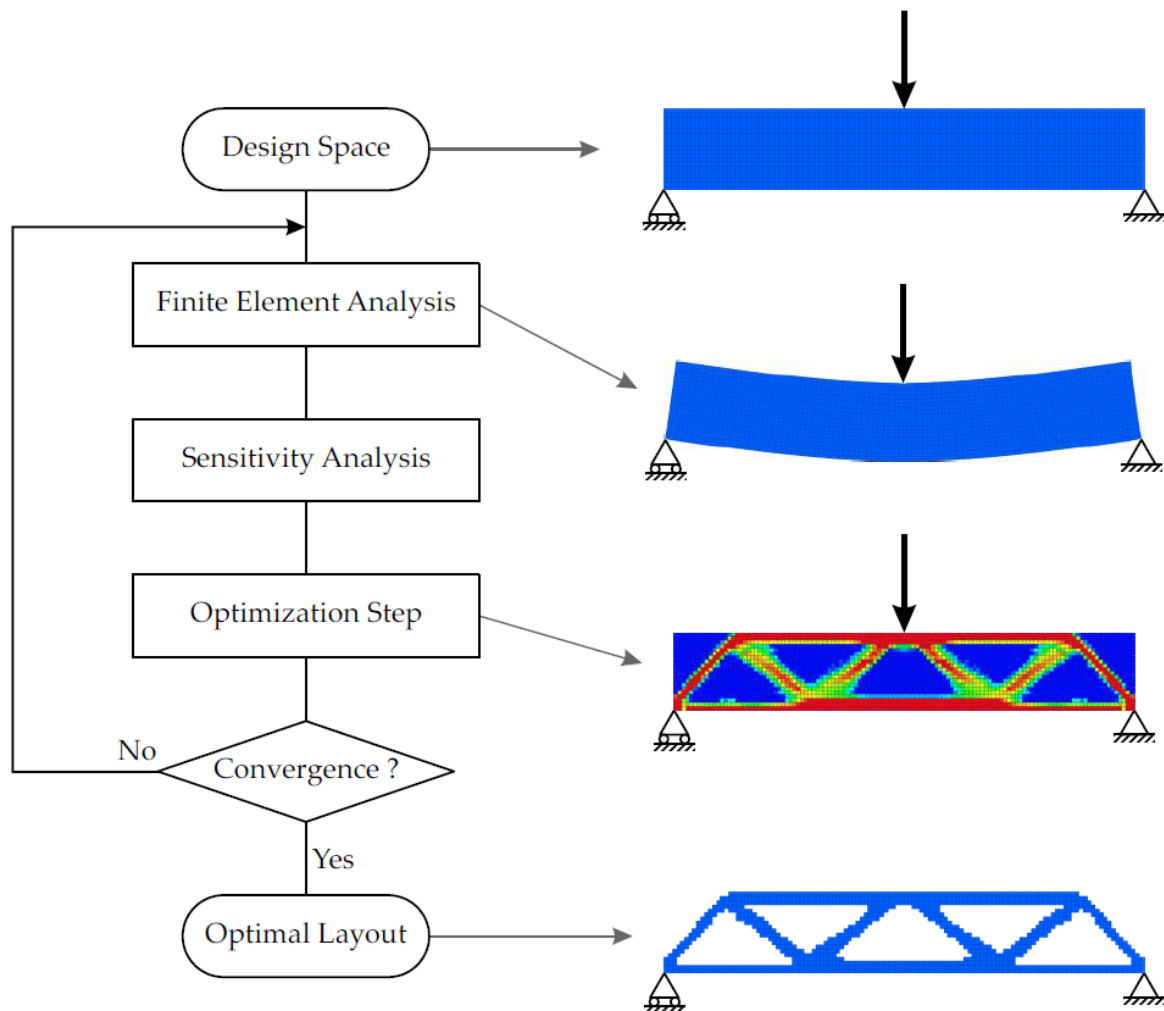


Figura 18: Sintesi degli step dell'ottimizzazione topologica (SmartCAE)

Nella figura 18 si vede, in maniera schematizzata, il flusso dell'ottimizzazione topologica. Il risultato è una distribuzione del materiale ottimizzata per rispondere alle esigenze impostate.

L'ottimizzazione topologica ha tanti campi di applicazione, tra cui l'ambito di design del prodotto, strettamente collegato a quello ingegneristico. Soprattutto con l'arrivo di nuove tecniche di produzione come l'additive manufacturing, che permettono di creare geometrie di un componente non ottenibili con le tecniche tradizionali, si aprono nuovi orizzonti. Inoltre, al momento ci troviamo in una situazione, dove lo spreco di risorse come per esempio di materiali ed energia è diventato un problema molto importante. La ricerca cerca di

combattere questo problema, sviluppando prodotti sempre più leggeri, ma allo stesso tempo più performanti (Airoldi, 2013/2014).

1.8.1 *Limiti*

La tecnica sarebbe perfetta se non ci fossero dei limiti. Un limite è dato dalla scelta del materiale. Il software è limitato a materiali isotropi, cioè materiali le cui proprietà meccaniche non dipendono dalla direzione in cui le si analizza. Anche se alcuni software professionali sono in grado di considerare materiali anisotropi, come il legno o le plastiche caricate con fibre, la simulazione diventa molto complessa perché bisogna specificare l'orientamento del materiale. Come già accennato, il risultato dell'ottimizzazione è spesso una geometria organica che non è stata progettata apposta per poter essere prodotta con una certa tecnologia di produzione. Infatti, spesso il componente non è realizzabile con le tecniche di produzione tradizionali, ma bisogna considerare nuove tecnologie come quelle dell'additive manufacturing. Ormai esistono tantissimi sistemi di additive manufacturing che sono in grado di stampare una vasta gamma di materiali, dalle plastiche ai metalli al cemento, in dimensioni e qualità diversi. Si tratta comunque ancora di una tecnologia a bassa produttività e ad alto costo che può rendere il prodotto finale, anche con proprietà maggiori, poco competitivo sul mercato. Un ultimo limite che bisogna considerare non è legato al prodotto stesso, ma a chi lo disegna. Il progettista, infatti, usando queste tecnologie di simulazione, perde parte della sua libertà di esprimere un linguaggio di design ed estetica. Per componenti nascosti, cioè non visibili all'utente, questo problema è trascurabile, ma per componenti che si interfacciano coll'utente è estremamente rilevante (Airoldi, 2013/2014).

1.9 La stampa 3D

La stampa 3D è un metodo di produzione additiva che parte da un modello digitale. Con produzione additiva si intende un processo di unione di materiali per creare un oggetto tridimensionale, al contrario dei metodi tradizionali di produzione sottrattiva come la fresatura (Wikipedia - Produzione additiva). Anche se la stampa 3D nasce nel 1986 con la pubblicazione del brevetto di Chuck Hull, ha trovato diffusione negli ultimi 10 anni. La tecnologia è diventata disponibile a piccole e medie aziende specialmente perché sono scaduti diversi brevetti, e perché la componentistica in generale è diventata più economica ed accessibile (Wikipedia - Stampa 3D). Nel corso degli anni, il numero di materiali processabili, come anche l'affidabilità e la qualità degli oggetti prodotti sono aumentati. Un vantaggio della stampa 3D, che la distingue da altri metodi di produzione, è che rende economica la produzione di singoli oggetti in piccole produzioni. Al giorno di oggi sono disponibili diverse tecnologie di stampa. Quelle riportati di seguito sono quelle più diffuse per la lavorazione di polimeri.

1.9.1 Il Fused Deposition Modelling (FDM)

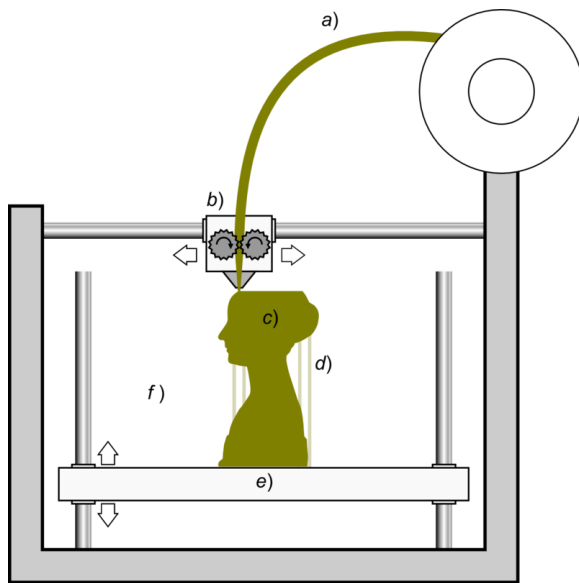


Figura 19: Schematizzazione del processo di stampa 3D con tecnologia FDM (R. Scopigno, 2015)

Nella stampa FDM, il materiale, che inizialmente viene caricato in forma di filo arrotolato su bobina, viene depositato strato per strato da un ugello riscaldato e forma così dal basso verso l'alto la geometria desiderata. La precisione dipende soprattutto dallo spessore del filo e dallo spessore di ogni strato. La geometria da stampare in formato digitale viene divisa in strati da un software apposito CAM (Computer Aided Manufacturing) e convertito in un codice CNC (Computerized Numerical Control) che contiene le coordinate e le correlative velocità dell'ugello per creare il pezzo tridimensionale. Con la tecnologia FDM

è possibile stampare polimeri termoplastici. Le proprietà meccaniche degli oggetti spesso sono abbastanza scarse.

1.9.2 La Stereolitografia (SLA)

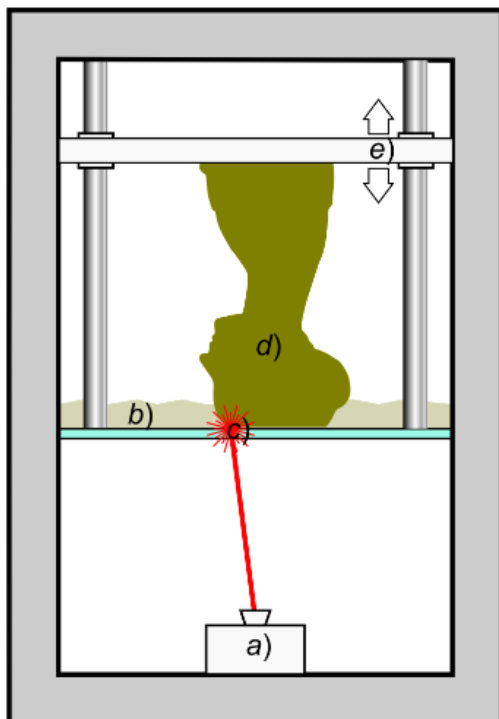


Figura 20: Schematizzazione del processo di stampa 3D con tecnologia SLA (R. Scopigno, 2015)

La stereolitografia è un'evoluzione della prima stampante 3D, inventata da Chuck Hull (Pazi, 2016/17). Il materiale, una resina epossidica fotosensibile, inizialmente si trova allo stato liquido all'interno di una vasca. Anche in questa tecnologia il modello viene costruito strato per strato da un laser, o da una fonte di raggi UV, che selettivamente solidifica il polimero allo stato liquido. Solidificato uno strato, la piattaforma, alla quale è vincolato il modello, si alza e il laser riparte a solidificare lo strato successivo. Il risultato è un oggetto trasparente e molto dettagliato con proprietà meccaniche non rilevanti (Zare).

1.9.3 Il Selective Laser Sintering (SLS)

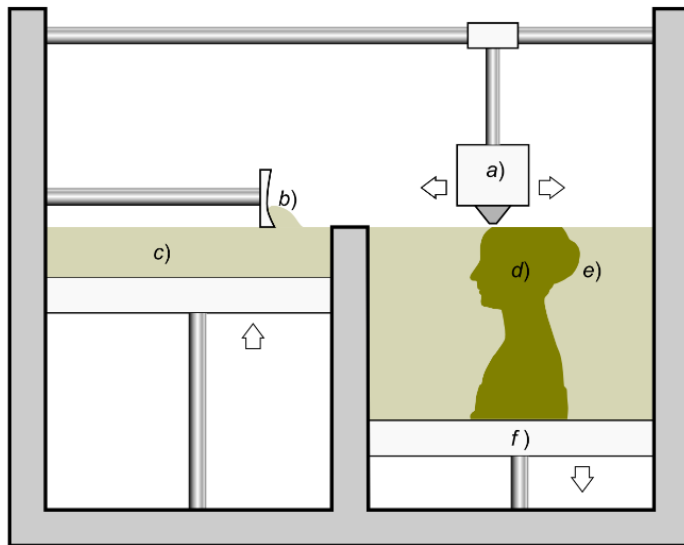


Figura 21: Schematizzazione del processo di stampa 3D con tecnologia SLS (R. Scopigno, 2015)

La stampa SLS parte da un materiale in forma di polvere. Come materiale si possono usare polimeri termoplastici, ma anche metalli o materiali ceramici. Su un piano viene steso uno strato di polvere attraverso un rullo per poi essere fuso selettivamente da un raggio laser nelle zone necessarie per formare la geometria desiderata. Più lo strato è sottile ed uniforme, più dettagliata risulta la geometria del pezzo finale. Il rullo, oltre al ruolo di distribuire il materiale

uniformemente ha anche il compito di compattarlo, per diminuire la porosità e quindi di aumentare il legame tra le particelle e le proprietà meccaniche (Innova fvg Materiali innovativi nella stampa 3D). Infatti, questa tecnologia di stampa, diversa dalle altre due prima descritte, è in grado di fornire prototipi con proprietà meccaniche molto buone. Nel caso di attacchi per lo snowboard è addirittura possibile utilizzare i prototipi in prove sul campo.

1.9.4 Il Multi Jet Fusion (MJF)

La stampa MJF funziona molto simile alla SLS, però al posto del laser ci sono delle testine di stampa che rilasciano due agenti sul letto riscaldato in polvere. Il primo, chiamato agente di fusione, fonde selettivamente le particelle, mentre il secondo, chiamato agente di dettaglio, migliora la risoluzione e la qualità superficiale delle parti (3d-produktionsdrucker). Le lampade posizionate sopra il letto di polvere hanno il compito di scaldarlo e di attivare la polimerizzazione degli agenti. I pezzi stampati con questa tecnologia presentano una densità elevata, una bassa porosità e un'elevata qualità superficiale. Rispetto alla stampa SLS le parti creati con la tecnologia MJF hanno proprietà meccaniche superiori, il processo è più veloce e costa meno (Selltek).

Per questo studio è stato deciso di utilizzare la tecnologia MJF per stampare il prototipo, proprio perché permette di effettuare delle prove meccaniche. La stampa viene fatta dall'azienda "Union Binding Company" con una stampante HP MJF 4200 in materiale Nylon 12.

2 Scopo

Questa tesi ha come compito la descrizione di alcune tecniche di analisi, quali la DIC e il FEM, con un confronto di sistemi DIC, un'analisi della tecnologia dell'ottimizzazione topologica e la seguente applicazione su un baseplate di un attacco per lo snowboard, con la realizzazione di un prototipo stampato in 3D. Attraverso questo approccio innovativo ci si aspetta lo sviluppo di un baseplate con prestazioni di peso e proprietà meccaniche nettamente migliori. Per la quotidianità dello snowboarding, questo comporta:

- Un controllo molto più diretto e preciso della tavola da parte del rider
- Meno inerzia, soprattutto nelle rotazioni
- Maggior comfort
- Un design futuristico con geometrie organiche

Come sopra descritto non è sempre facile prevedere le sollecitazioni di un prodotto ancora in fase di produzione. Questo nuovo approccio per sviluppare un prodotto strutturale ha vantaggi di costo e di tempo:

- Meno materiale impiegato, perché il materiale strutturalmente scarico viene eliminato
- La geometria si basa sulle sollecitazioni reali
- Eliminazione del "trial and error"
- Il prototipo può essere sottoposto a prove sul campo

In considerazione del fatto che lo scopo di questa tesi è di ottenere un attacco completo con tutti i componenti necessari per l'uso, si è deciso di sviluppare un baseplate che si integrasse con i componenti già sviluppati dell'azienda "Union Binding Company".

2.1 Approccio sperimentale

Analisi strutturali con la tecnologia DIC di un attacco già disponibile sul mercato.



Fit dell'analisi numerica FEM su quella effettuata con la tecnologia DIC dello stesso modello di attacco.



Definizione delle condizioni al contorno per il nuovo attacco, come ad esempio l'ingombro massimo e le geometrie standard di interfaccia.



Impostazione delle forze con l'apposita direzione per ogni caso di carico.



Ottimizzazione topologica per ogni caso di carico.



Valutazione dei risultati e loro plausibilità



Sovrapposizione dei risultati per ottenere un risultato che comprende le informazioni di ogni ottimizzazione.



A partire del risultato dell'ottimizzazione creare il modello.



Analisi strutturale con la tecnologia FEM per verificare se il modello finale corrisponde alle aspettative.



Nel caso di un risultato non soddisfacente, effettuare iterazioni al modello.



Stampaggio 3D del prototipo con tecnologia SLS.



Analisi strutturale con la tecnologia DIC sul prototipo e confronto con l'attacco da qui si è partito.

2.1 Strumenti, software e attrezzature utilizzati

2.1.1 Strumenti

Per effettuare le analisi strutturali con la tecnologia DIC è stato utilizzato il sistema “Dantec Dynamics Q-400 3D” (Scheda tecnica in allegato).



Figura 22: Esempio di set up sperimentale del sistema DIC (DantecDynamics)

Il dinamometro utilizzato è il modello Synergie 200 dell’azienda MTS Systems equipaggiata con una cella di carico da 500N.

2.1.2 Software

Per effettuare le analisi strutturali con la DIC e per visualizzare e valutare i risultati è stato utilizzato il software Istra4D dell’azienda Dantec Dynamics. L’acquisizione dei parametri del dinamometro e della cella di carico è stata fatta con il software TestWorks 4 dell’azienda MTS Systems.

La seguente analisi FEM è stata fatta con l’aiuto del software “Inventor Professional 2019” e “Fusion 360” di “Autodesk”. Per l’ottimizzazione topologica è stato utilizzato “Fusion 360” di “Autodesk”. La decisione di utilizzare “Fusion 360” è stata anche fatta perché offre la possibilità di effettuare i calcoli su cloud in tempi nettamente minori.

2.1.3 Attrezzature

Per analizzare il comportamento dell’attacco sotto carico, è stata costruita in passato una loading station. Questo banco prova, costituito in pratica da un piano e un dinamometro, permette di fissare l’attacco sul piano per poi applicare forze allo stesso con un dinamometro attraverso una protesi di una gamba infilata in uno scarpone, proprio come avviene anche

nell'utilizzo reale. È possibile così simulare la flessione in avanti, chiamata dorsiflexion, la flessione indietro, chiamata plantarflexion, e ogni angolo fra questi due estremi.

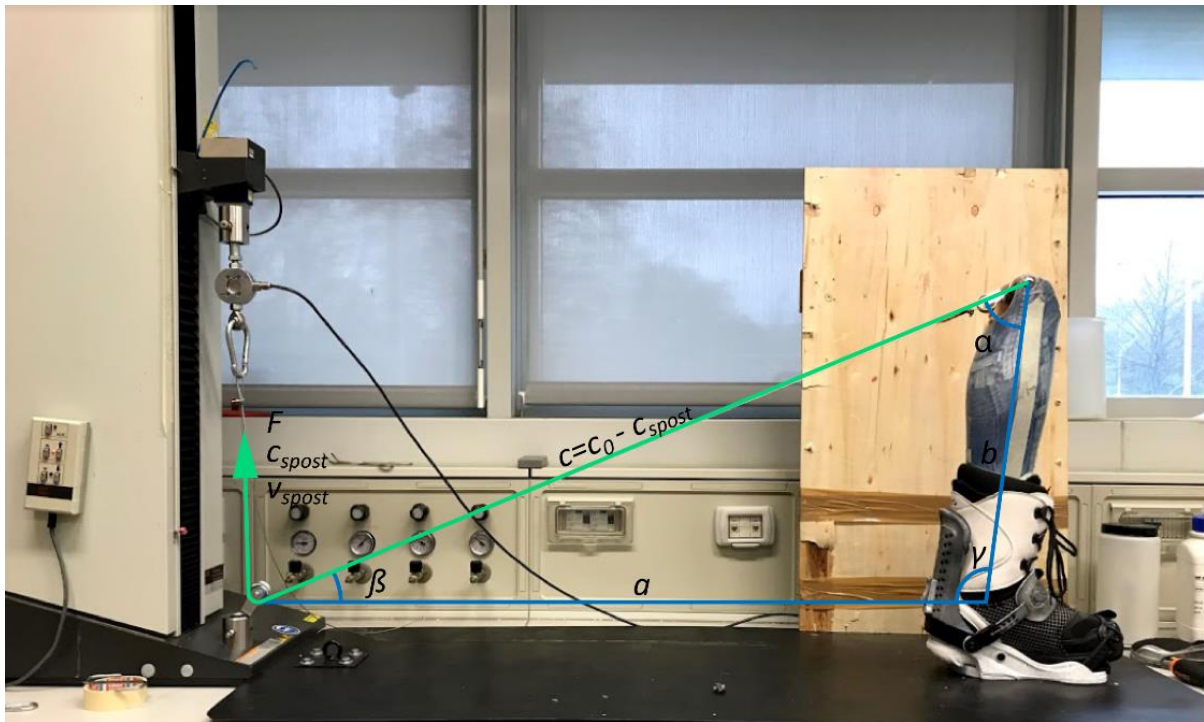


Figura 23: Loading station



Figura 24: Protesi

La protesi utilizzata si compone da un piede, taglia 43, di materiale plastico, che è collegato attraverso un perno, nel punto corrispondente alla caviglia, alla gamba. La gamba, sempre di un materiale plastico, è cava e ha un altro perno sulla sua estremità superiore, al quale si collega un cavo di acciaio attraverso un gancio metallico. Questo cavo passa da una rotella, fissata sulla base del dinamometro, e arriva alla cella di carico, montato sul carello mobile della macchina, alla quale è fissato. Si forma così una relazione geometricamente definita che permette di calcolare la forza e il momento flettente che agisce sulla protesi e l'attacco. Le formule per descrivere la geometria sono spiegate di seguito.

3 Calcolo della forza e del momento applicato

Il rapporto tra gamba, cavo d'acciaio e rinvio a ruota ha la forma di un triangolo scaleno. Le misure di questo triangolo nel momento $t = 0$ sono costanti e si possono misurare con un semplice metro sul banco prova. Con la lunghezza dei lati conosciuta si possono calcolare gli angoli con l'aiuto del teorema del coseno:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc * \cos(\alpha)$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac * \cos(\beta)$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab * \cos(\gamma)$$

Trasformando questi termini, si ottengono le seguenti formule per calcolare gli angoli:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{b^2 - a^2 + c^2}{2bc} \right)$$

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 - b^2 + c^2}{2ac} \right)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 - c^2 + b^2}{2ab} \right)$$

Le formule sopra riportate valgono solo per il momento $t = 0$. Nei momenti successivi, il lato a , che è la distanza il bozzello e la caviglia della protesi, e b , che è la lunghezza della gamba tra caviglia e perno superiore, rimangono costanti, mentre il lato c è definito della seguente formula:

$$c_{(t)} = c_0 - c_{spost}$$

Con:

$$c_{spost} = v * t$$

c_0 = lunghezza del lato c nel momento $t = 0$

v = velocità dello spostamento

Le formule per calcolare gli angoli quindi diventano:

$$\alpha_{(t)} = \cos^{-1} \left(\frac{b^2 - a^2 + c_{(t)}^2}{2bc_{(t)}} \right)$$

$$\beta_{(t)} = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 - b^2 + c_{(t)}^2}{2ac_{(t)}} \right)$$

$$\gamma_{(t)} = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 - c_{(t)}^2 + b^2}{2ab} \right)$$

Per questo lavoro, l'angolo di interesse è quello α perché ci permette di calcolare il momento torcente che agisce sull'articolazione della caviglia attraverso la forza che effettivamente agisce in perpendicolare alla gamba attraverso il seguente rapporto.

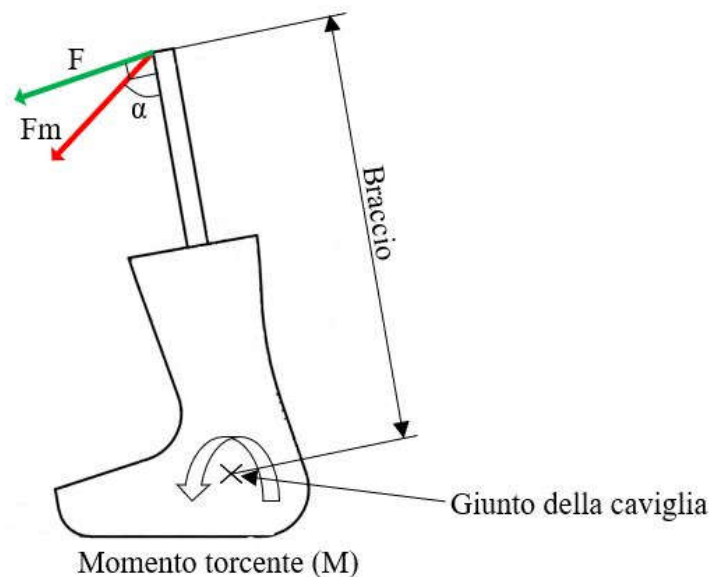


Figura 25: Schematizzazione trigonometriche delle forze agenti sulla loading station (Pazi, 2016/17)

La formula per calcolare il momento torcente è la seguente, l'unità è Nm:

$$M_{(t)} = F_{(t)} * b$$

Con:

$$F_{(t)} = Fm_{(t)} * \text{sen}(\alpha_{(t)})$$

Fm = Forza misurata della cella di carico

F = Forza che agisce in perpendicolare all'asse della gamba

L'obiettivo di questi calcoli è quello di eseguire ogni prova con gli stessi parametri per poterli confrontare.

4 Confronto dei vari sistemi DIC

4.1 I sistemi testati

Per aumentare la confidenza e per scegliere il sistema migliore per effettuare le prove su degli attacchi da snowboard, ma anche in ottica di un futuro acquisto, è stato fatto un confronto tra i vari sistemi, a due e tre dimensioni, che usano la tecnica DIC. I sistemi confrontati in questo contesto sono stati (documentazione tecnica di ogni sistema in allegato):

- Luchsinger VIC-3D HR
Software: VicSnap, Vic-3D™
- Dantec Dynamics Q-400 3D
Software: Istra4D
- GOM ARAMIS SRX 3D
Software: GOM Correlate 3D
- Fotocamera mirrorless Sony alpha 6300 2D
Software: GOM Correlate 2D

4.2 Confronto risultati

Sotto è riportato un confronto tra i sistemi che usano la tecnologia DIC, tranne il sistema dell'azienda "Luchsinger", con il quale per diversi motivi non siamo stati in grado di ottenere un risultato accettabile.

In questo capitolo l'asse X è quella orizzontale, mentre l'asse Y è quella verticale. Ogni analisi è stata fatta con gli stessi parametri. I parametri utilizzati:

- Velocità $v = 200 \text{ mm}/\text{min}$
- Carico massimo del dinamometro $F_m = 250N$
- Cricchetti dell'attacco chiusi: toestrap (dita) 15 click, anklestrap (caviglia) 16 click

4.2.1 Dorsiflexion deformazione asse X

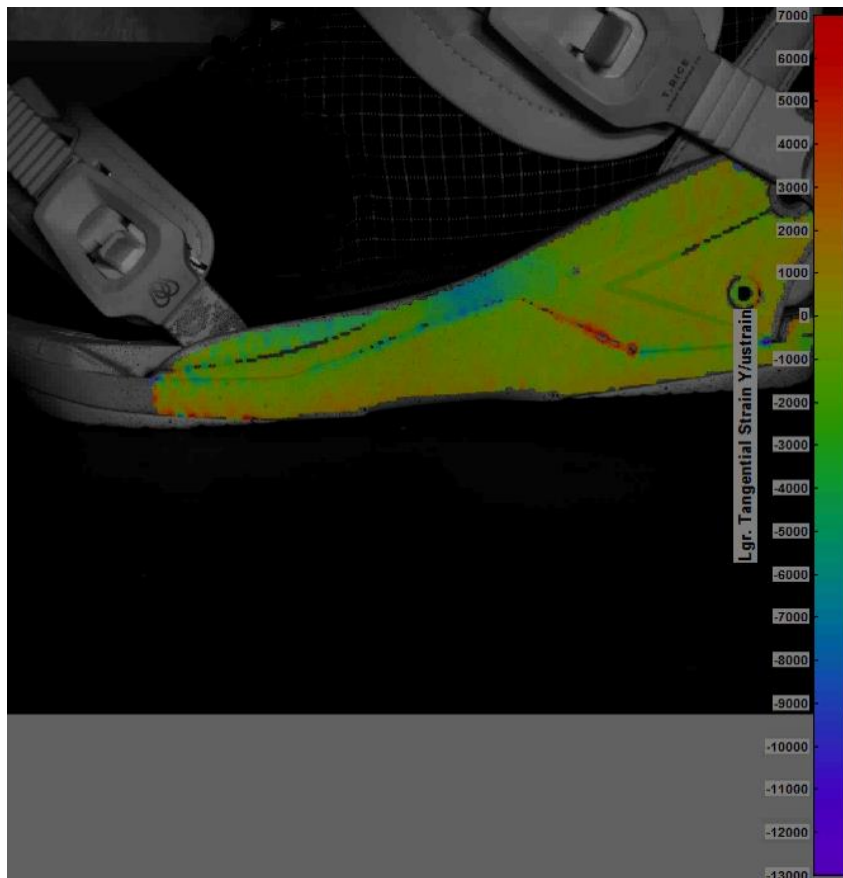


Figura 26: Dantec Dynamics: Dorsiflexion deformazione asse X



Figura 27: GOM: Dorsiflexion deformazione asse X



Figura 28: Sony alpha: Dorsiflexion deformazione asse X

4.2.2 Dorsiflexion deformazione asse Y

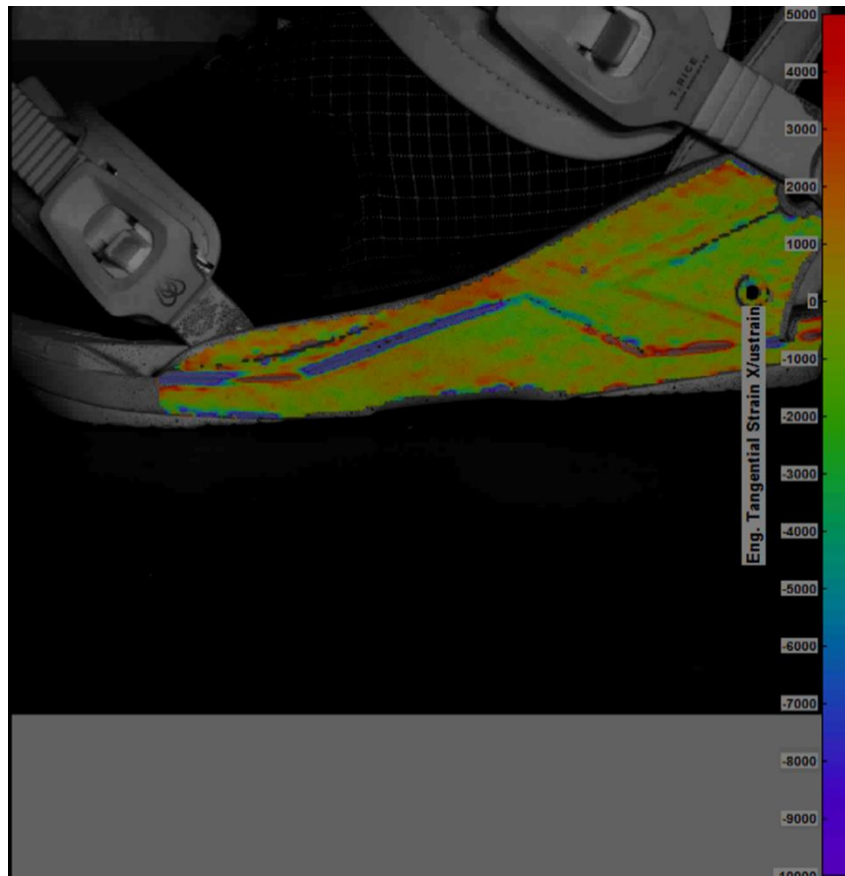


Figura 29: Dantec Dynamics: Dorsiflexion deformazione asse Y

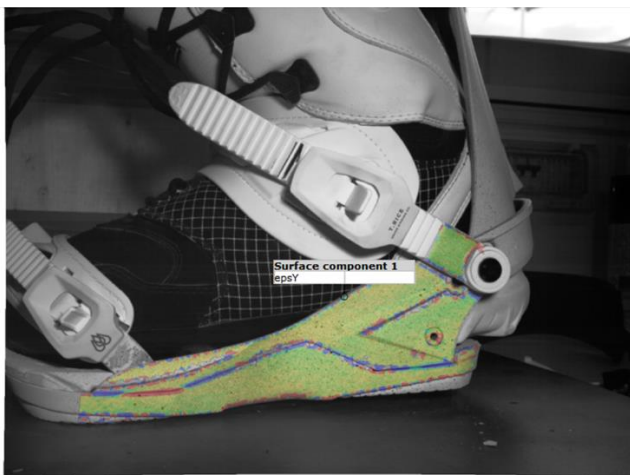


Figura 30: GOM: Dorsiflexion deformazione asse Y

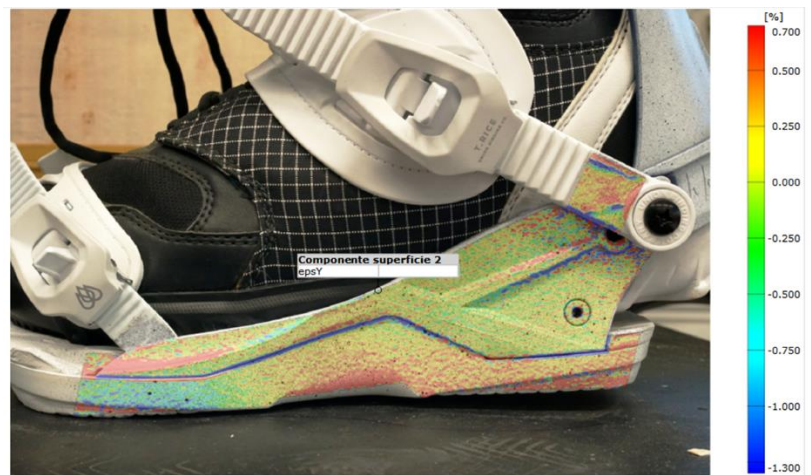


Figura 31: Sony alpha: Dorsiflexion deformazione asse Y

4.2.3 Plantarflexion deformazione asse X

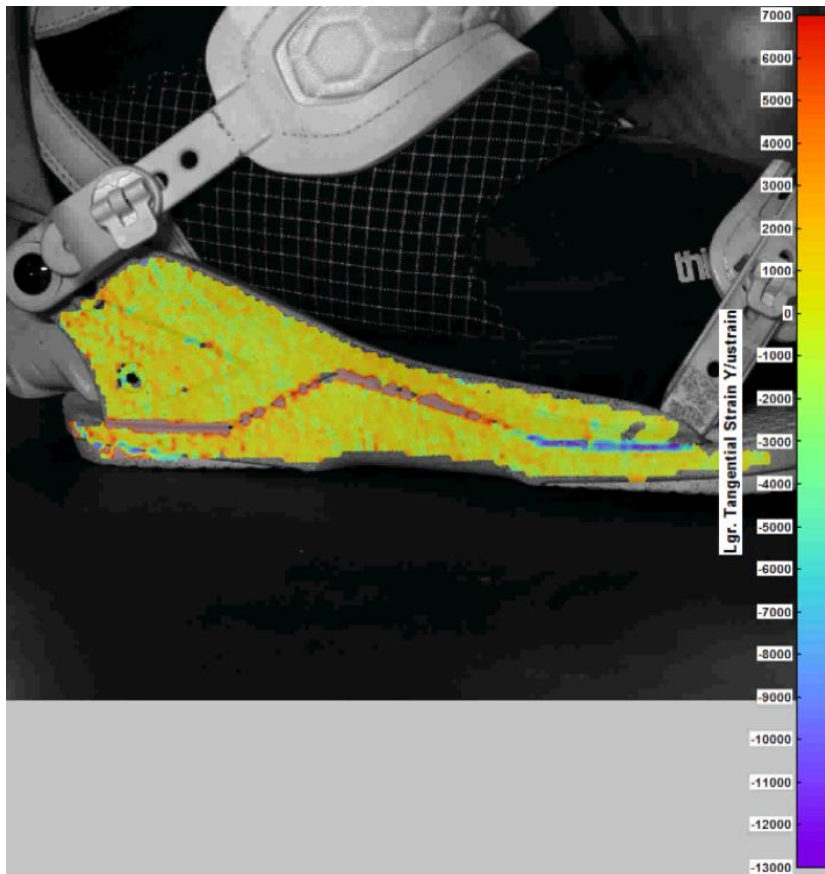


Figura 32: Dantec Dynamics: Plantarflexion deformazione asse X



Figura 33: GOM: Plantarflexion deformazione asse X



Figura 34: Sony alpha: Plantarflexion deformazione asse X

4.2.4 Plantarflexion deformazione asse Y

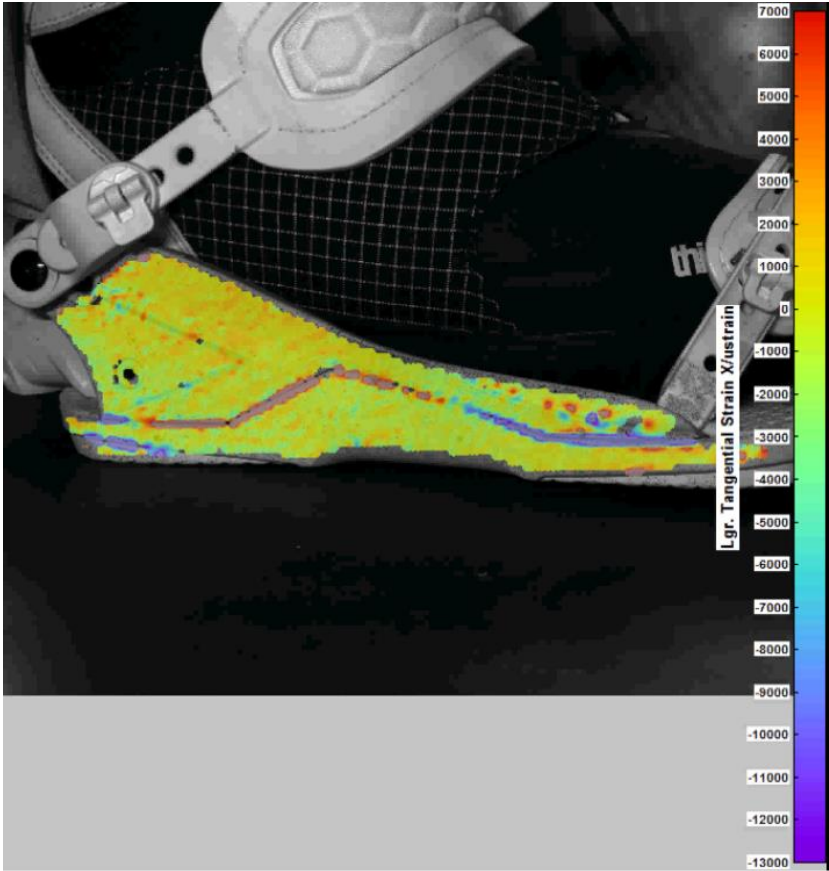


Figura 35: Dantec Dynamics: Plantarflexion deformazione asse Y



Figura 36: GOM: Plantarflexion deformazione asse Y



Figura 37: Sony alpha: Plantarflexion deformazione asse Y

4.3 Discussione

Al primo colpo d'occhio è difficile fare un confronto tra i vari sistemi perché ogni risultato sembra diverso dell'altro. Se però si va un po' più nel dettaglio si possono individuare degli elementi caratterizzanti. Bisogna anche prendere in considerazione la risoluzione diversa tra i vari sistemi e che i risultati del sistema dell'azienda "Dantec Dynamics" sono stati calcolati da un software diverso con una scala di colori o una risoluzione diverse. Considerando queste differenze si può dire che i risultati del sistema "GOM ARAMIS" e "Dantec Dynamics Q-400" sono simili sia qualitativamente che quantitativamente. I risultati che derivano della fotocamera "Sony alpha" invece portano dei risultati misti. Nelle zone con superfici in perpendicolare all'asse della fotocamera e che sono meno soggette a spostamenti fuori dal loro piano originario, i risultati sono paragonabili a quelli degli altri due sistemi. Su superfici che invece possono facilmente subire degli spostamenti fuori dal piano, la fotocamera, essendo solo a due dimensioni, riconosce una deformazione non esistente. Le superfici angolari rispetto al piano, in perpendicolare all'asse di rilevazione danno più o meno problemi a tutti e tre i sistemi. Il sistema che ha la miglior performance in questo ambito è stato il "GOM ARAMIS", seguito dal sistema "Dantec Dynamics Q-400".

Sistema	Usabilità	Software	Dati tecnici (in breve)	Risultati
Luchsinger VIC-3D HR	Sistema abbastanza semplice e leggero. Sotto questi aspetti soffre un po' la robustezza e la precisione.	Il software non è molto intuitivo e ci si mette un po' per prendere mano.	5MP, 15Hz, 3D	Per questa applicazione i risultati erano scarsi e non utilizzabili. Con lenti diversi e una calibrazione adatta, probabilmente, il risultato sarebbe stato migliore.
Dantec Dynamics Q-400 3D	Sistema molto simile a quello della Luchsinger. La calibrazione si è	Il software non è intuitivo e a volte da degli errori inspiegabili. Una	5MP, 3D	Risultati buoni e riconoscimento del pattern buono.

	presentata complicata.	volta preso confidenza è però veloce e offre strumenti avanzati.		
GOM ARAMIS SRX 3D	Sistema molto robusto e pesante, ma preciso. Se non dev'essere spostato più di tanto è anche abbastanza portatile con il suo treppiede a rotelle.	Il software GOM Correlate è molto intuitivo e facile da utilizzare. Nelle fasi più critiche, come la calibrazione, il software fa da guida. Nonostante la sua semplicità, offre anche strumenti molto professionali e avanzati.	6MP, fino a 2000Hz, 3D	Tra i sistemi confrontati i risultati sono i più soddisfacenti. Il pattern viene riconosciuto bene anche su superfici leggermente inclinate.
Sony alpha 6300 2D	Camera molto leggera, portatile e versatile. In generale molto facile da utilizzare, anche perché si tratta di una fotocamera diretta al consumatore.	Il software utilizzato è stato quello del sistema GOM, GOM Correlate. Vedi sopra.	24MP, 11Hz, 2D	I risultati sono molto soddisfacenti per superfici in perpendicolare all'asse della lente. Sul bordo dell'immagine e per superfici inclinate il risultato è scarso.

Tabella 3: Confronto dei sistemi a tecnologia DIC

5 Confronto tra baseplate stampato ad iniezione e baseplate stampato con la stampante 3D

Il prototipo che sarà il frutto di questo studio sarà stampato con una stampante 3D dell'azienda HP, modello MJF 4200, in Nylon 12 per poi essere testato di nuovo con il sistema a tecnologia DIC. Per potere fare una corretta valutazione dei risultati e per trarre conclusioni dal pezzo stampato con la stampante e da uno analogo stampato ad iniezione sono stati fatti delle analisi con il sistema DIC sullo stesso modello di attacco, una volta con baseplate stampato ad iniezione e una volta con baseplate stampato con la stampante 3D. Ovviamente la stampante e il materiale usato per questa analisi è identico a quello del prototipo finale.

Le analisi sono state fatte con il sistema "Q-400 3D" dell'azienda "Dantec Dynamics" (foglio tecnico in allegato) con l'ottica modello "Xenoplan 1.4/17" nella versione "-0903" dell'azienda "Schneider Kreuznach" (foglio tecnico in allegato). Per l'analisi della dorsiflexion è stata utilizzata una forza di 230N, mentre per l'analisi della plantarflexion di 250N. Nelle immagini sottostanti si vedono i campi di deformazione sotto il carico massimo. L'asse X è quella orizzontale, mentre l'asse Y è quella verticale. La scala della deformazione è uguale per tutte le immagini e include deformazioni tra 0,7% a -1,3%. Nell'immagine a sinistra è sempre l'attacco stampato ad iniezione, in quella destra quello stampato con la stampante 3D.

5.1 Dorsiflexion deformazione asse X

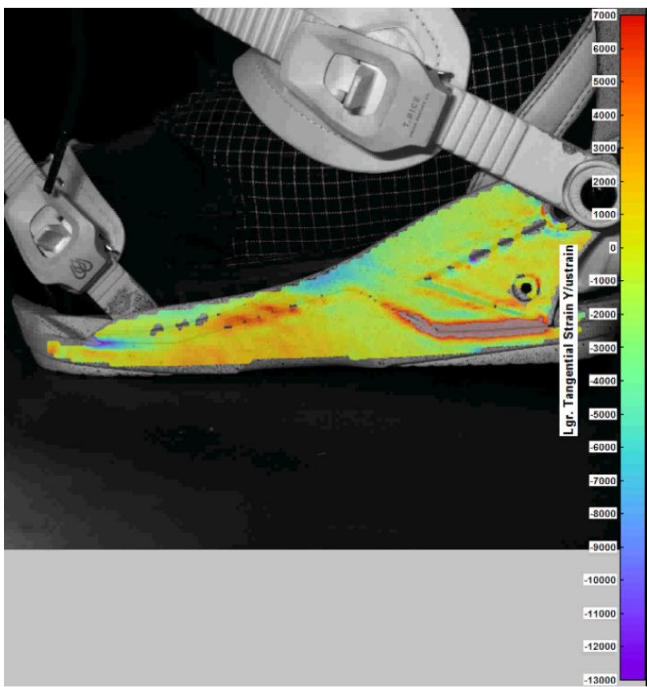


Figura 38: Dorsiflexion deformazione asse X dell'attacco con baseplate stampato ad iniezione

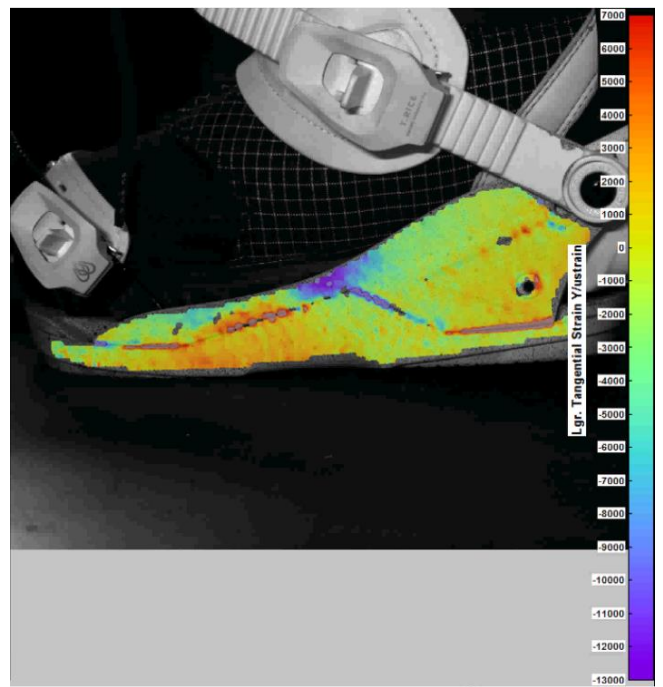


Figura 39: Dorsiflexion deformazione asse X dell'attacco con baseplate stampato con la stampante 3D

La differenza in termini di deformazione tra il baseplate stampato ad iniezione e quello stampato con la stampante 3D, come vediamo nelle due immagini sopra, sta soprattutto nella quantità della deformazione. Le zone di compressione e trazione hanno una disposizione quasi identica mentre la deformazione in direzione orizzontale è nettamente più alta nel baseplate stampato in 3D.

5.2 Dorsiflexion deformazione asse Y

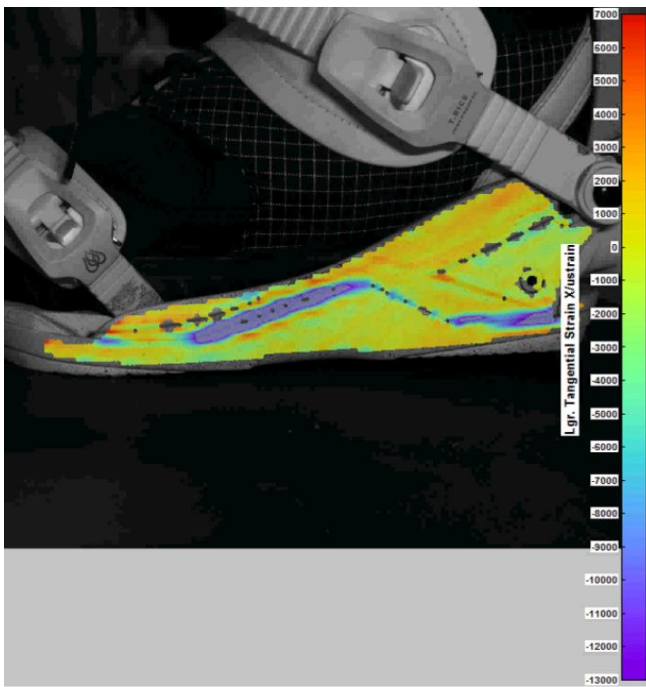


Figura 40: Dorsiflexion deformazione asse Y dell'attacco con baseplate stampato ad iniezione

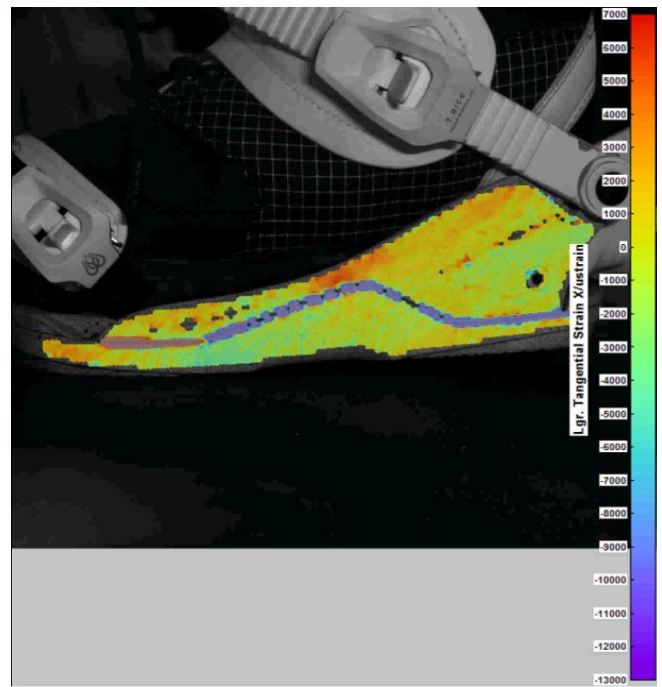


Figura 41: Dorsiflexion deformazione asse Y dell'attacco con baseplate stampato con la stampante 3D

Nell'analisi della deformazione in direzione verticale, notiamo la stessa caratteristica. Anche in questo caso il baseplate subisce deformazioni maggiori ma i pattern di deformazione sono molto simili.

5.3 Plantarflexion deformazione asse X

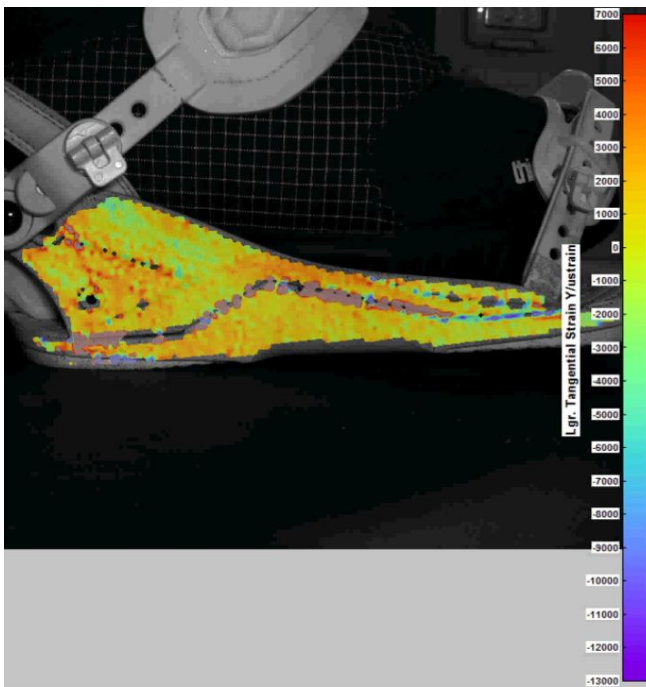


Figura 42: Plantarflexion deformazione asse X dell'attacco con baseplate stampato ad iniezione

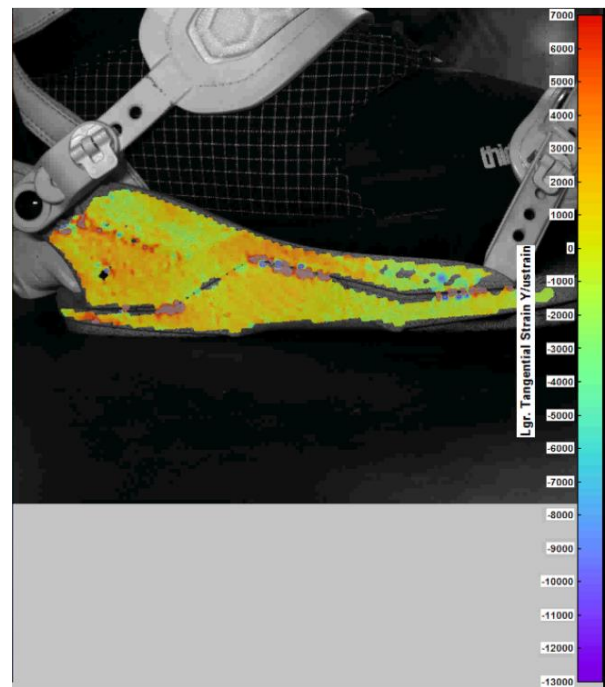


Figura 43: Plantarflexion deformazione asse X dell'attacco con baseplate stampato con la stampante 3D

La deformazione subita in asse orizzontale nella plantarflexion è quasi uguale per entrambi gli baseplate. In questa analisi è difficile individuare differenze.

5.4 Plantarflexion deformazione asse Y

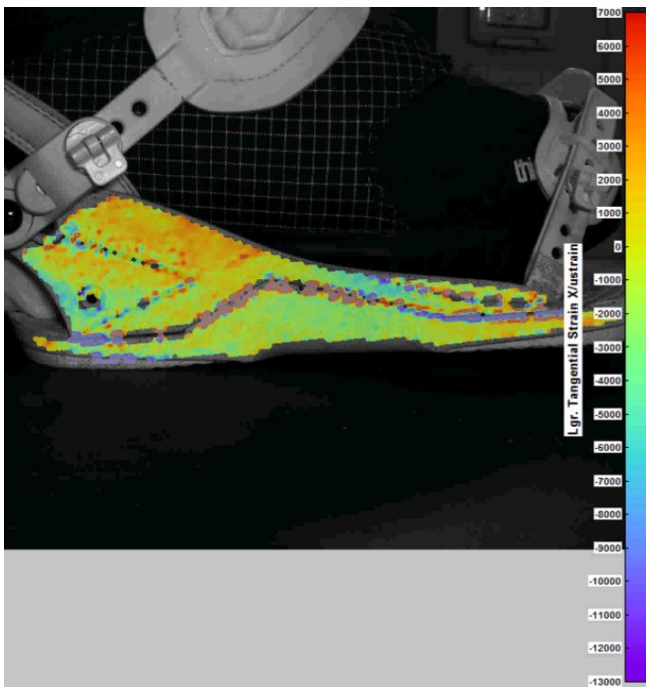


Figura 44: Plantarflexion deformazione asse Y dell'attacco con baseplate stampato ad iniezione

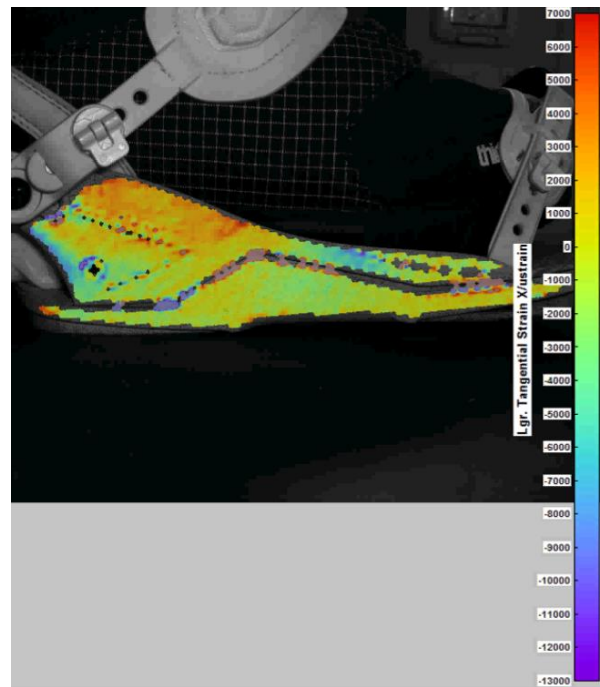


Figura 45: Plantarflexion deformazione asse Y dell'attacco con baseplate stampato con la stampante 3D

Quest'ultima analisi conferma i risultati delle prime due analisi con una deformazione quantitativamente più alta del baseplate stampato con la stampante 3D. Le zone di compressione e trazione si coprono nella loro disposizione.

5.5 Conclusione

Come già presunto in base alle proprietà meccaniche diverse del materiale dei due baseplate, il pezzo stampato con la stampante 3D ha subito deformazioni maggiori. Questo è dovuto al modulo elastico più basso del 50% nel caso del materiale stampato in 3D. In ogni modo i pattern di deformazione in compressione e trazione, in tutte e quattro le analisi, sono equivalenti e quindi è possibile fare una valutazione della corretta geometria utilizzando dei prototipi stampati in 3D con la tecnica qui utilizzata.

6 Sviluppo del baseplate

In questo capitolo sono descritti in dettaglio tutti gli step effettuati per arrivare, partendo da un baseplate preesistente, ad un prototipo topologicamente ottimizzato con proprietà meccaniche migliori e peso minore.

6.1 Attrezzatura utilizzata per effettuare le analisi

Lo sviluppo del nuovo baseplate parte dall'analisi di un attacco preesistente sul mercato. L'azienda "Union Binding Company" con sede a Colico, Lecco, con la quale è stata fatta una collaborazione, ci ha fornito degli attacchi della serie "Forged Carbon Series", modello "Falcor" nella taglia L, come anche lo scarpone modello "Lashed" dell'azienda "thirtytwo" usato per le analisi.

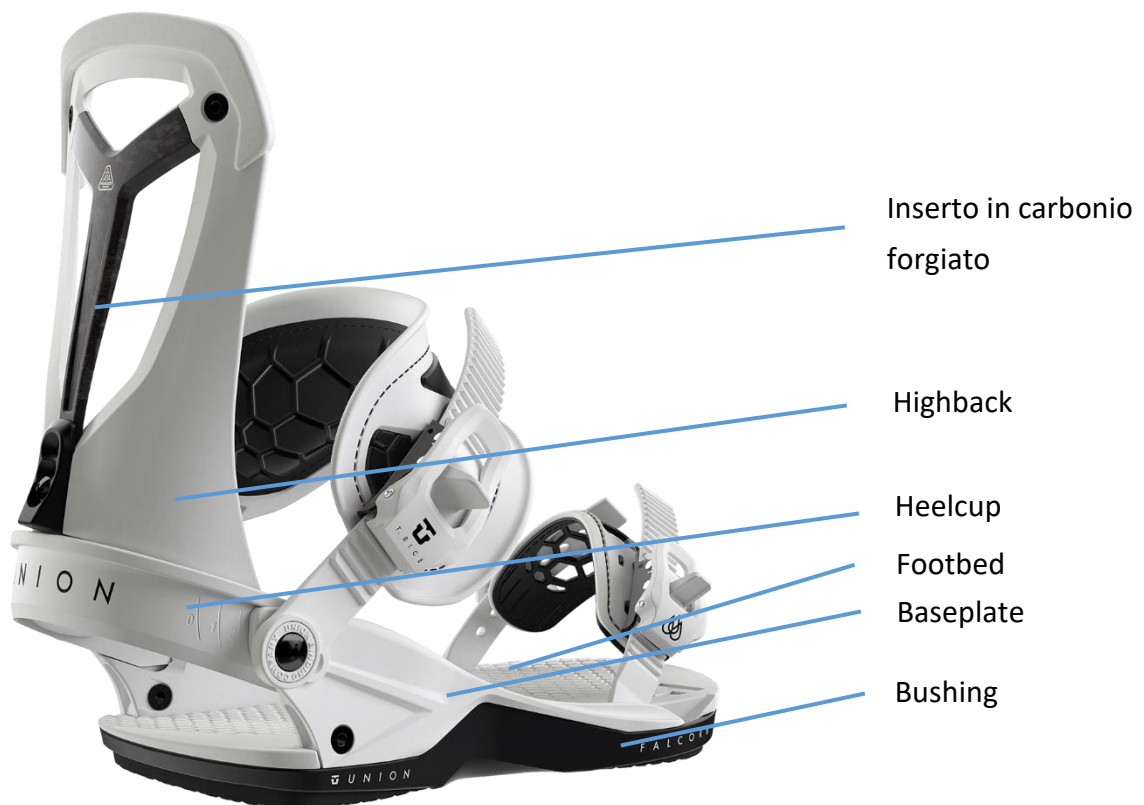


Figura 46: Attacco modello "Falcor" dell'azienda "Union Binding Company" (Union Binding Company)

L'attacco "Falcor", che vediamo nell'immagine sovrastante, ha un baseplate molto rigido, stampato ad iniezione in materiale "Akulon K224 – PG6" (dati tecnici in allegato), un Nylon 6 caricato 30% con fibre di vetro. Lo heelcup, che è l'arco che si trova in corrispondenza del tallone e sul quale appoggia l'highback, è costituito da un profilo estruso in alluminio che viene infilato nell'apposito incastro del baseplate. Questo attacco in particolare ha un highback con inserto di carbonio forgiato per garantire il giusto supporto. Un'altra particolarità di questo attacco è l'estensione del bushing che copre parte del baseplate lateralmente.



Figura 47: Scarpone modello "Lashed" dell'azienda "thirtytwo" (Zumiez)

6.2 Analisi strutturali con la tecnologia della Digital Image Correlation (DIC) di un attacco disponibile sul mercato

Le analisi con la tecnologia DIC sono state condotte in modo analogo a quelli fatti in precedenza per confrontare i vari sistemi. Come già accennato, il sistema utilizzato è stato il sistema "Q-400 3D" dell'azienda "Dantec Dynamics" (foglio tecnico in allegato) con l'ottica modello "Xenoplan 1.4/17" nella versione "-0903" dell'azienda "Schneider Kreuznach" (foglio tecnico in allegato).



Figura 48: Set up sperimentale con sistema DIC "Dantec Dynamics Q-400 3D" e due lampade LED



Figura 49: Dettaglio del pattern stocastico applicato sul baseplate

Per l'analisi della deformazione in modalità dorsiflexion è stata utilizzata una forza di 230N, mentre per la modalità plantarflexion di 250N. L'andamento del carico, sia in avanti che indietro, in relazione all'angolo di caviglia si può vedere nella figura 50. Nelle immagini sottostanti si vedono i campi di deformazione al carico massimo. L'asse X è quella orizzontale, mentre l'asse Y è quella verticale. La scala della deformazione è uguale per tutte le immagini e include deformazioni tra 0,7% a -1,3%.

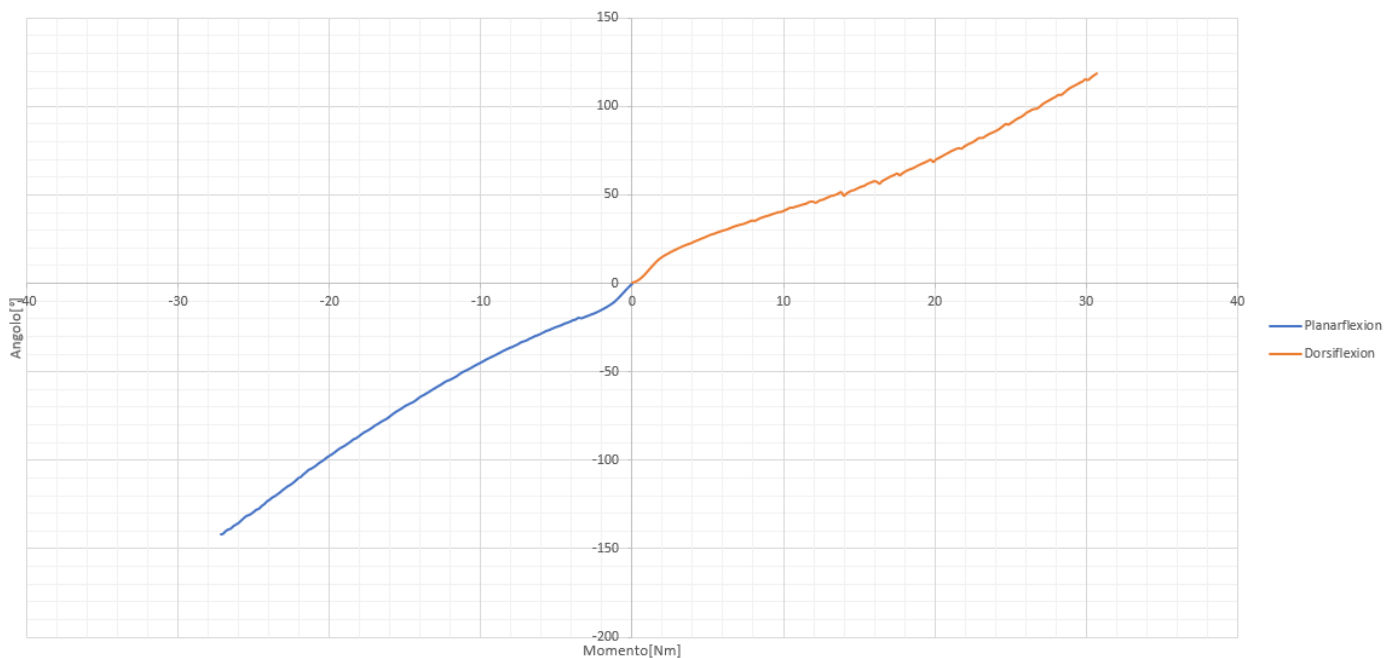


Figura 50: Grafico flex attacco "Falcor"

In figura 50 è riportato il momento torcente all'interno della caviglia, calcolato con le formule sopra riportate, in relazione all'angolo di flessione in avanti ed indietro a partire dell'angolo neutro dell'insieme scarpone-attacco.

Un breve riepilogo dei parametri utilizzati per questa analisi:

- Velocità $v = 1000 \text{ mm}/\text{min}$
- Carico massimo del dinamometro per la flessione in avanti (dorsiflexion) $Fm = 230N$
- Carico massimo per la flessione in dietro (plantarflexion) $Fm = 250N$
- Cricchetti dell'attacco chiusi: toestrapp (dita) 15 click, anklestrap (caviglia) 16 click

6.2.1 *Dorsiflexion asse X*

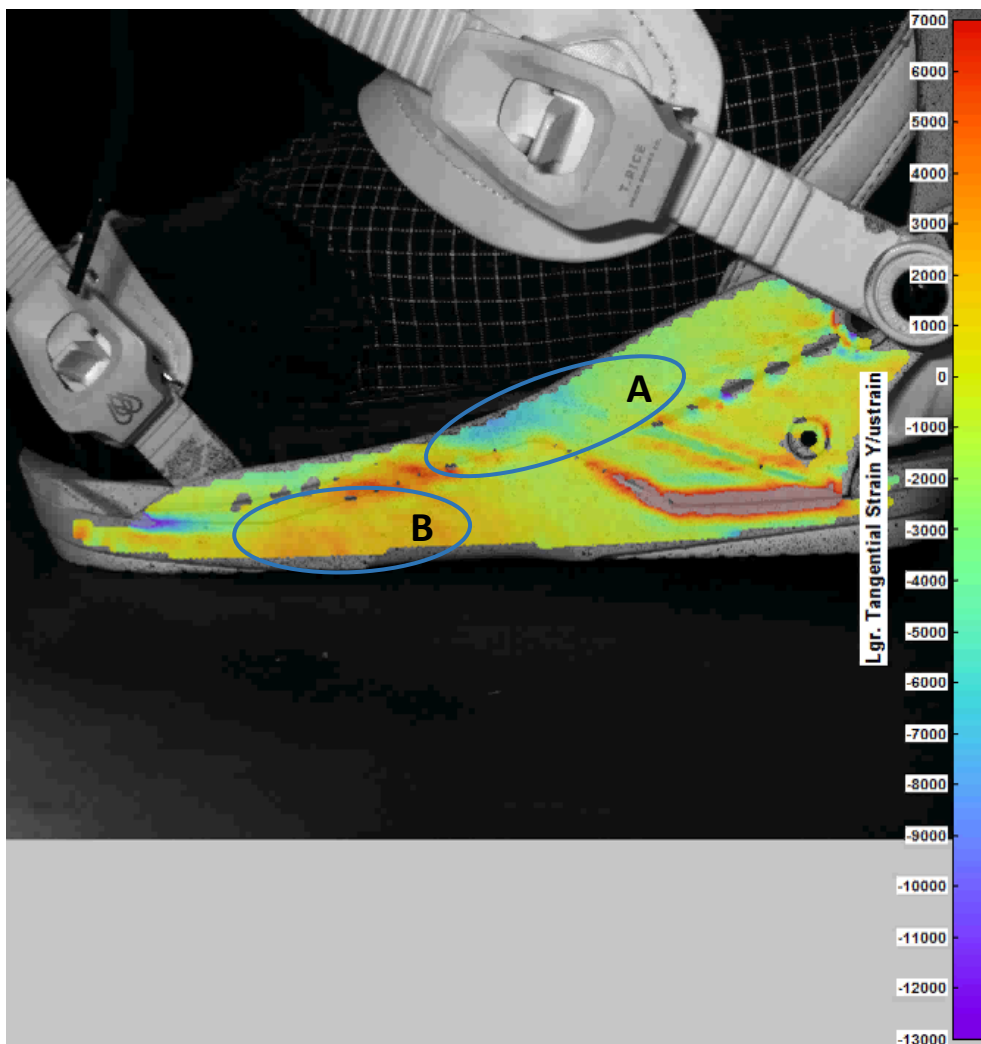


Figura 51: *Dorsiflexion asse X*

Nella figura 51 si vede il baseplate deformato sotto un carico che corrisponde alla dorsiflexion. I colori indicano la deformazione in direzione X, cioè orizzontale. In questo caso si possono individuare due zone caratteristiche. Nella zona A, l'attacco subisce una compressione mentre la zona B è sollecitata a trazione. Bisogna dire che la zona B si trova sul bushing e non sul baseplate strutturale dell'attacco, quindi corrisponde alla deformazione della parte strutturale soltanto quanto è in grado di seguire la deformazione di essa.

Lungo la linea di divisione tra baseplate e bushing, i dati non corrispondono alla deformazione del materiale, ma sono dovuti a spostamenti relativi tra le due parti.

6.2.2 *Dorsiflexion asse Y*

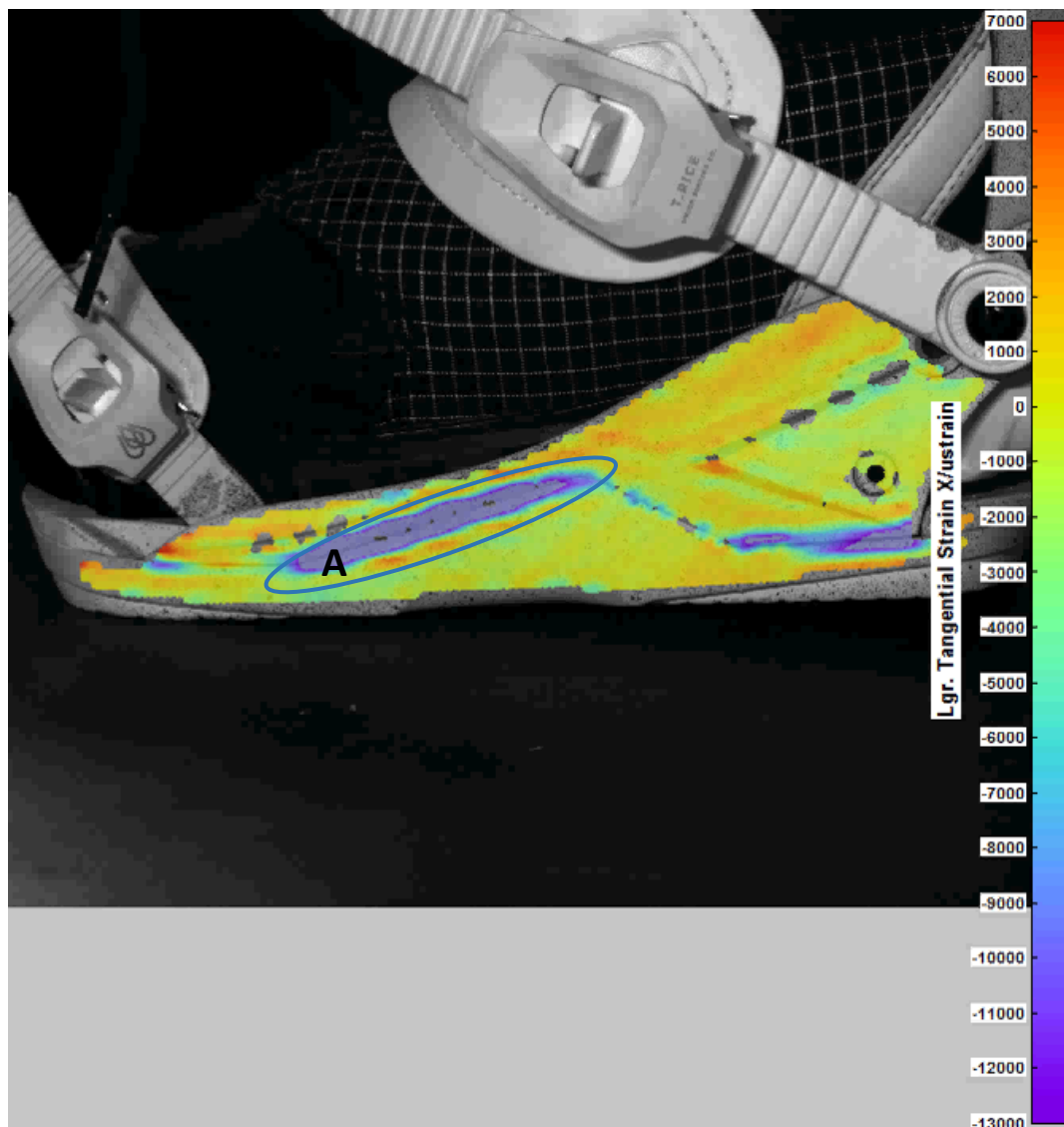


Figura 52: *Dorsiflexion asse Y*

La figura 52 mostra la deformazione lungo l'asse Y sotto un carico di tipo dorsiflexion. Nella zona indicata con la lettera A, si nota che i due componenti, baseplate e bushing, si avvicinano.

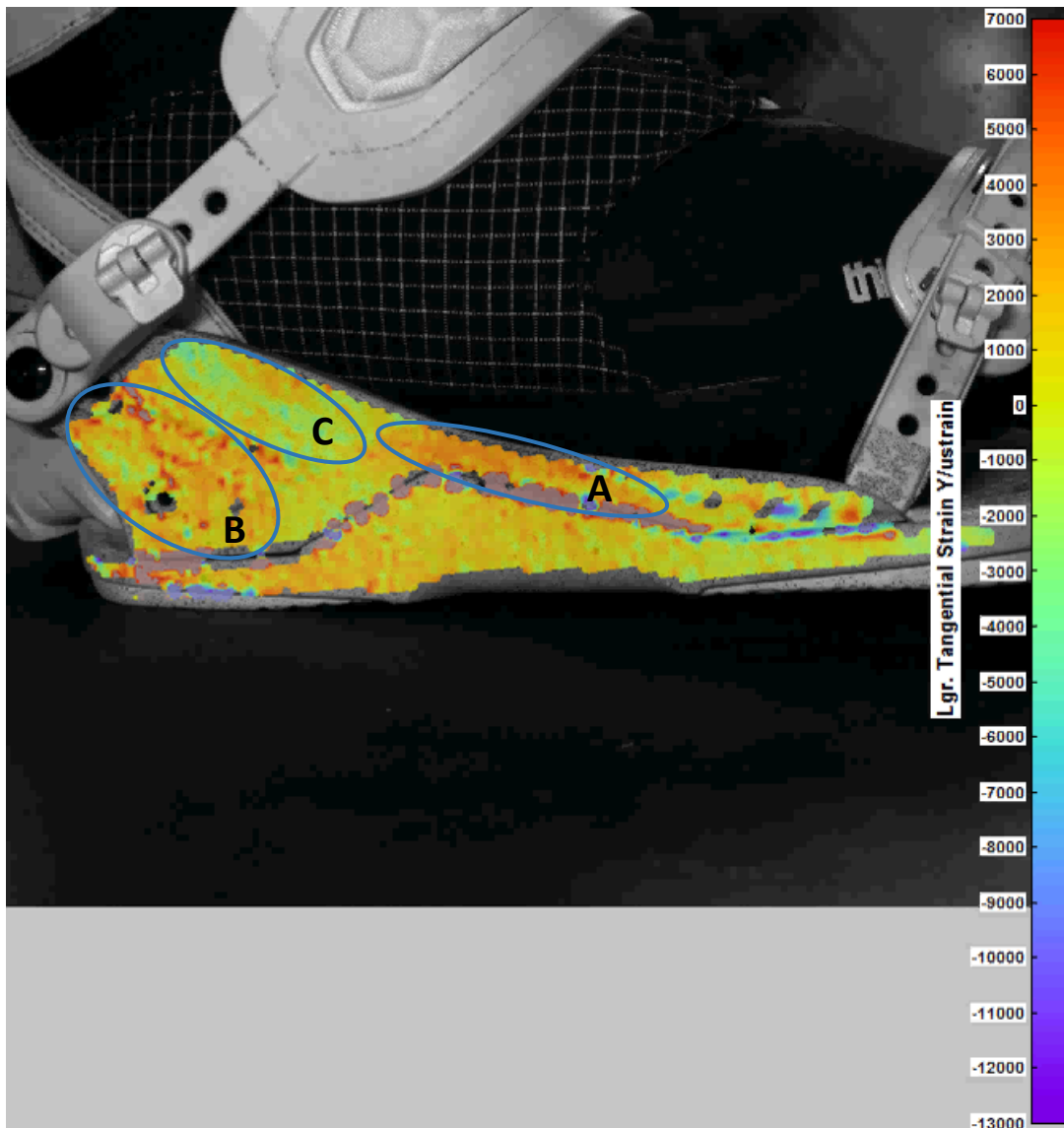
6.2.3 *Plantarflexion asse X*

Figura 53: *Plantarflexion asse X*

La figura 53 indica i campi di deformazione in direzione X dell'attacco sotto un carico di tipo plantarflexion. Come prima cosa si nota che baseplate e bushing si staccano parecchio e la deformazione esce dalla scala dei colori. L'altra cosa, che per questo studio è più rilevante sono i due campi a trazione, A e B, e la zona a compressione C. È interessante notare che i campi A e B si trovano una volta sulla parte alta e una volta sulla parte bassa del baseplate. Questo, molto probabilmente, vuol dire che il baseplate in questa zona subisce una doppia flessione.

6.2.4 *Plantarflexion asse Y*

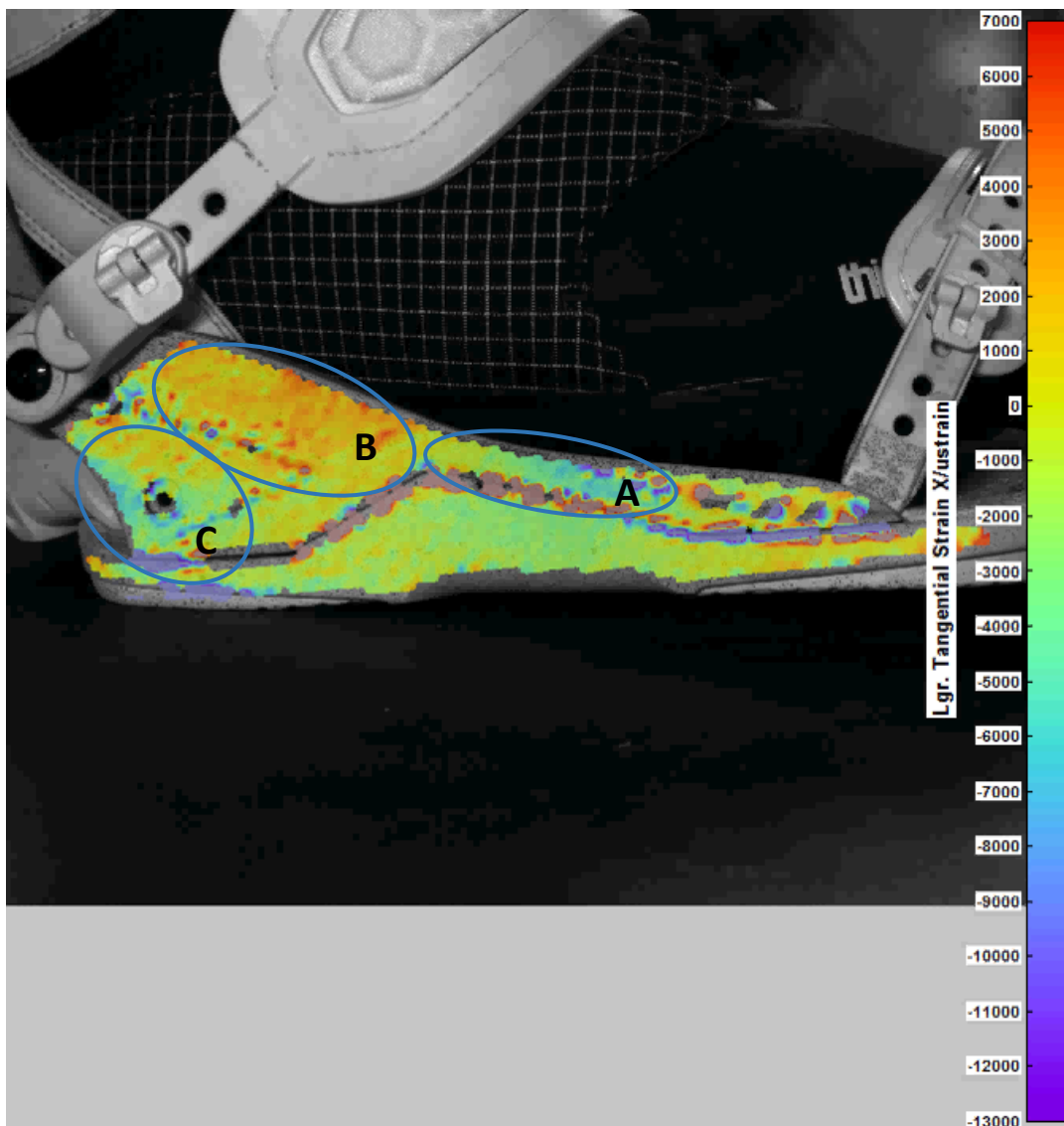


Figura 54: *Plantarflexion asse Y*

In figura 54 si vede la deformazione in direzione verticale del baseplate sotto un carico di tipo plantarflexion. Se confrontiamo questa figura con la figura precedente, si nota che i campi di deformazione sono esattamente opposti. La dove nella figura precedente c'è un campo di trazione, nella figura 54 c'è un campo di compressione. Questo comportamento è normale per materiali con un coefficiente di Poisson positivo.

6.3 Analisi strutturali con la tecnica degli elementi finiti (FEM) sullo stesso attacco

La stessa azienda che ci ha fornito l'attacco per le varie analisi con la tecnologia della DIC, ci ha fornito anche il modello digitale in formato STEP (*.stp), sul quale, una volta importato all'interno del software, è stata fatta l'analisi FEM. L'obiettivo di questa fase è quello di definire quali sono le forze principali che causano le deformazioni viste nell'analisi con la tecnologia della DIC e di fittare il modello FEM in modo che corrisponda il più possibile ad una sollecitazione reale. Come sollecitazione reale è intesa quella caricata con la loading station. Per avere una prima valutazione è stato utilizzato il software "Inventor Professional 2019" di "Autodesk" che per analisi non eccessivamente precise è veloce ed intuitivo. Per effettuare in seguito un'analisi più approfondita è stato utilizzato il software "Fusion 360" sempre dell'azienda "Autodesk" che ha il grande vantaggio di poter calcolare il modello su cloud e quindi di fare analisi anche con mesh molto fitti. È necessario specificare che entrambi i software sono di tipo semi-professionale, ma in ogni modo la precisione è stata più che sufficiente per gli scopi di questo studio e in confronto con software più professionali sono più veloci ed intuitivi e ci hanno permesso così di fare molto più interpolazioni.

6.3.1 Analisi FEM dorsiflexion deformazione asse X con software "Inventor Professional 2019"

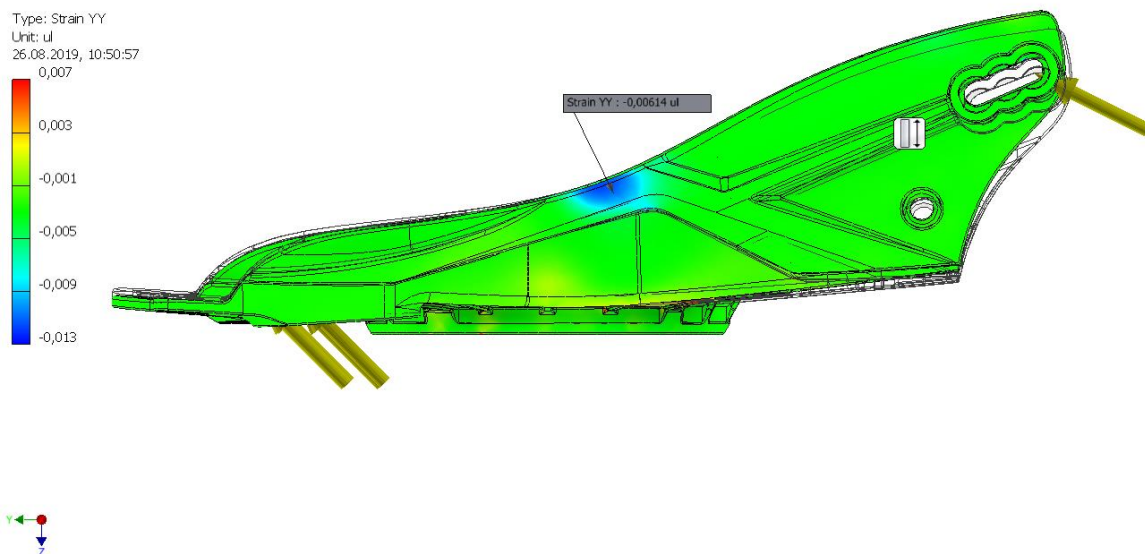


Figura 55: Analisi FEM dorsiflexion deformazione asse X con software "Inventor Professional 2019"

Nella figura 55 si vede il modello dell'attacco "Falcor" di "Union Binding Company". Le forze impostate per questa analisi FEM sono 400N sui fori dove si collega l'anklestrap e 100N laddove si infila il toestrap. Come punto fisso è stata scelta la circonferenza dentata interna attraverso la quale il baseplate viene fissato sulla tavola. La zona più deformata si trova circa a metà delle forze applicate sul lato superiore, in questo caso a compressione.

6.3.2 Analisi FEM Plantarflexion deformazione asse X con software "Inventor Professional 2019"

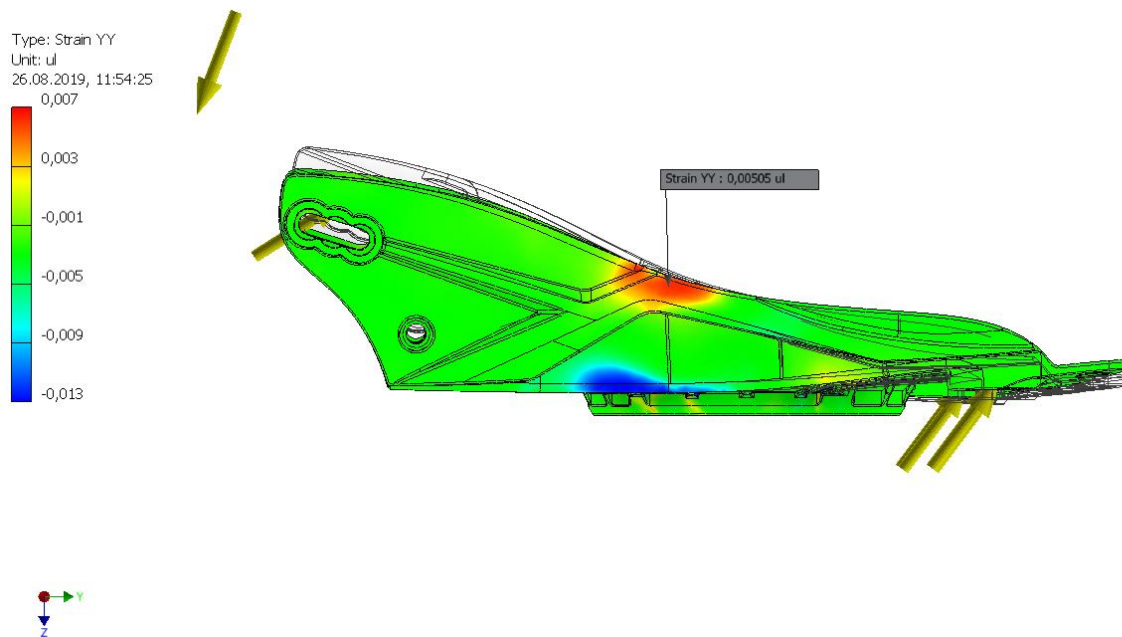


Figura 56: Analisi FEM Plantarflexion deformazione asse X con software "Inventor Professional 2019"

Per l'analisi FEM della plantarflexion dell'attacco "Falcor" è stata impostata una forza remota di 700N che agisce sulla guida nella quale si infila il heelcup e che simula il momento flettente introdotto dall'highback sul baseplate. Anche la forza che agisce sugli occhielli posteriori è stata aumentata a 700N, mentre la forza introdotta dal toestrap è di 150N. Già da queste due analisi soprastanti si possono individuare le zone strutturalmente più critiche dell'attacco. In questa analisi la stessa zona che nella dorsiflexion è stata compressa, in questo caso si è allungata. Sul lato inferiore, in vicinanza della circonferenza di fissaggio si trova una zona di compressione.

6.3.3 Analisi FEM dorsiflexion deformazione asse X con software "Fusion 360"

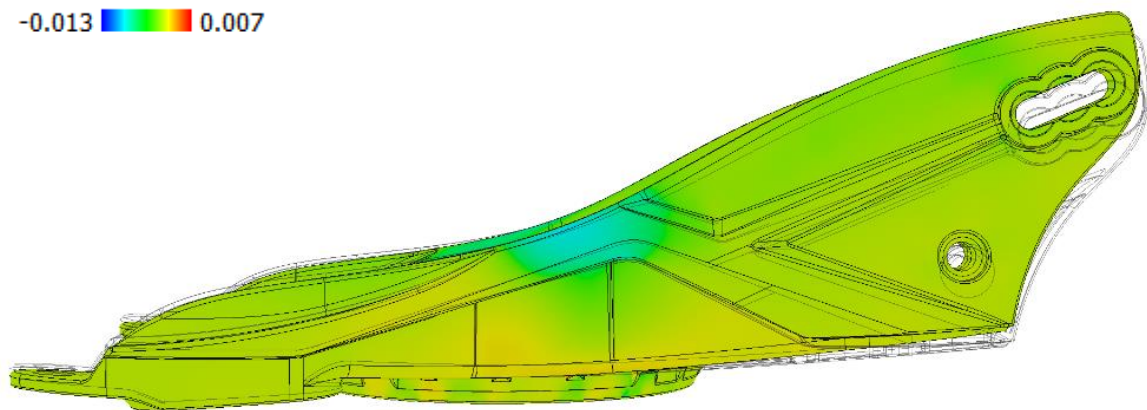


Figura 57: Analisi FEM dorsiflexion deformazione asse X con software "Fusion 360"

Le forze impostate per l'analisi FEM in figura 57 sono analoghe a quelle impostate in figura 55, però con una forza remota in più che agisce sulla guida, nella quale si inserisce il heelcup, verso l'alto, che simula la forza del tallone sul heelcup con una ampiezza di 100N.

6.3.4 Analisi FEM plantarflexion deformazione asse X con software "Fusion 360"

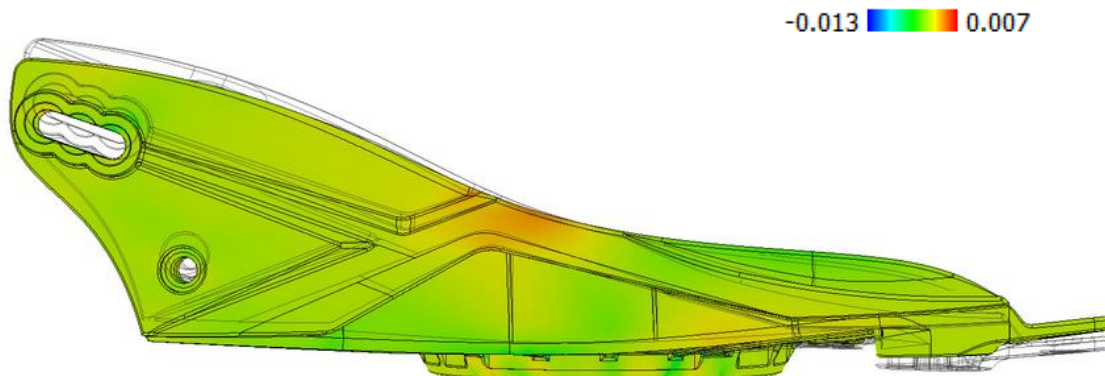


Figura 58: Analisi FEM plantarflexion deformazione asse X con software "Fusion 360"

In figura 58 si vede l'analisi FEM della dorsiflexion. Le forze impostate sono uguali alle forze in figura 56.

6.4 Definizione dello spazio di progettazione

Come già descritto nel capitolo sull'ottimizzazione topologica, il software ha bisogno di uno spazio di progettazione, al quale interno agire. In base all'attacco "Falcor" e in base a esperienze personali nell'uso di attacchi simili, questo limite di ingombro massimo è stato impostato come si vede nella figura sottostante.

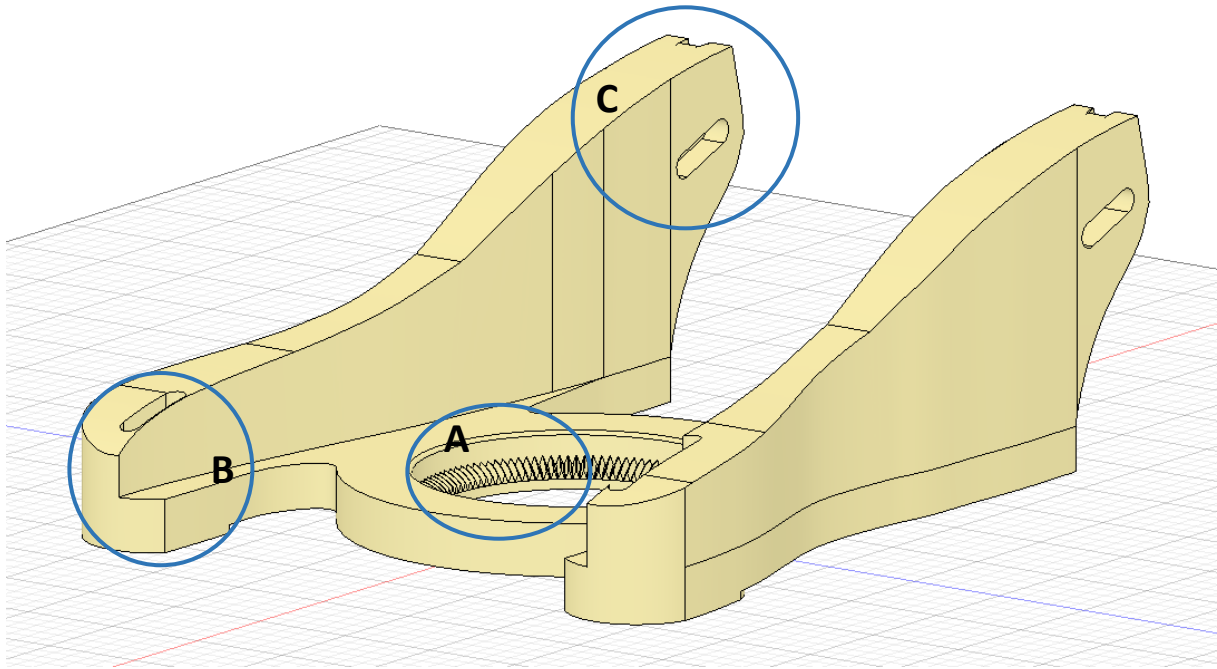


Figura 59: Spazio di progettazione

Come già scritto in precedenza, alla fine di questo lavoro, lo scopo è di ottenere un baseplate, che si integrasse tra i componenti (heelcup, highback, strap, ...) della "Union Binding Company", per cui il volume di ingombro comprende già tutti gli elementi di interfaccia (A, B, C) con la corrispondente geometria.

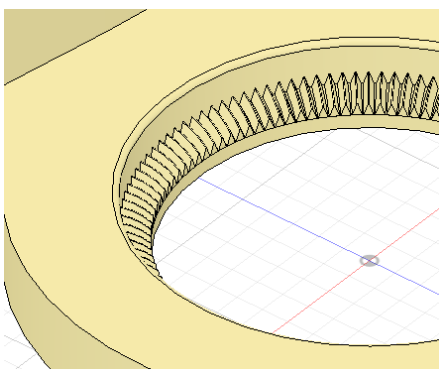


Figura 60: Interfaccia A

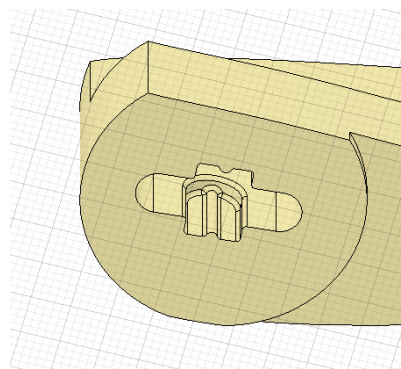


Figura 61: Interfaccia B

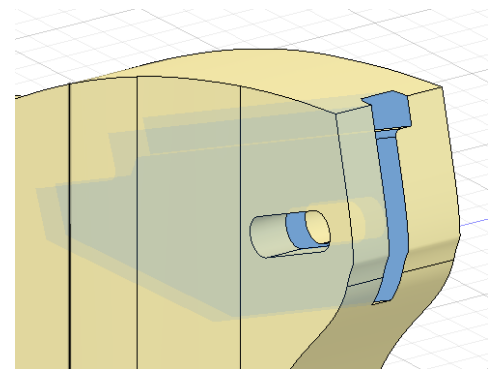


Figura 62: Interfaccia C

Sopra nelle figure 60, 61 e 62 si vedono gli elementi di interfaccia presi dall'attacco "Falcor". L'interfaccia A si trova nel centro del baseplate ed è in pratica una corona dentata che serve per bloccare l'attacco, nell'angolazione desiderata del rider, attraverso il disco di

montaggio sulla tavola. L'interfaccia B invece serve per incastrare i toestrap che poi vanno a fissare lo scarpone nella parte delle dita sull'attacco. L'ultima delle tre è l'interfaccia C, che ha una doppia funzione. Da un lato è una specie di guida che permette al heelcup di scorrere, per aggiustare la grandezza dell'attacco stesso, e dall'altro lato è anche il punto di fissaggio del anklestrap, che fissa la caviglia del rider all'interno del baseplate. Tutti gli elementi di interfaccia sono stati esclusi dallo spazio di progettazione perché la loro geometria non può essere modificata per garantire il giusto funzionamento tra i componenti.

Il volume iniziale dello spazio di progettazione è di $410,5\text{cm}^3$ che in materiale nylon 6/6 corrisponde a circa 463g. In confronto, il baseplate dell'attacco modello "Falcor" presenta un volume di 168cm^3 e pesa 191g.

6.5 Ottimizzazione topologica

Come già accennato prima, per fare l'ottimizzazione topologica è stato utilizzato il software "Fusion 360" dell'azienda "Autodesk". La geometria finale deve non solo resistere in vari casi di sollecitazione, ma anche offrire una buona rigidità per trasmettere gli impulsi del rider alla tavola. Per individuare questa forma ideale sono stati creati più casi di carico tra cui i due casi principali, la dorsiflexion e la plantarflexion, ma anche casi particolari come la flessione laterale. Di seguito, per ogni caso di carico, sono state fornite le impostazioni all'ottimizzatore in modo da trovare la disposizione di massa all'interno dello spazio di progettazione, utilizzando solo il 35% della massa iniziale, con anche il fine di ottenere la massima rigidità. Ancora prima del lancio dell'ottimizzazione sono stati esclusi gli elementi di interfaccia dallo spazio di progettazione. Il risultato è una geometria organica, però ancora molto grezza.

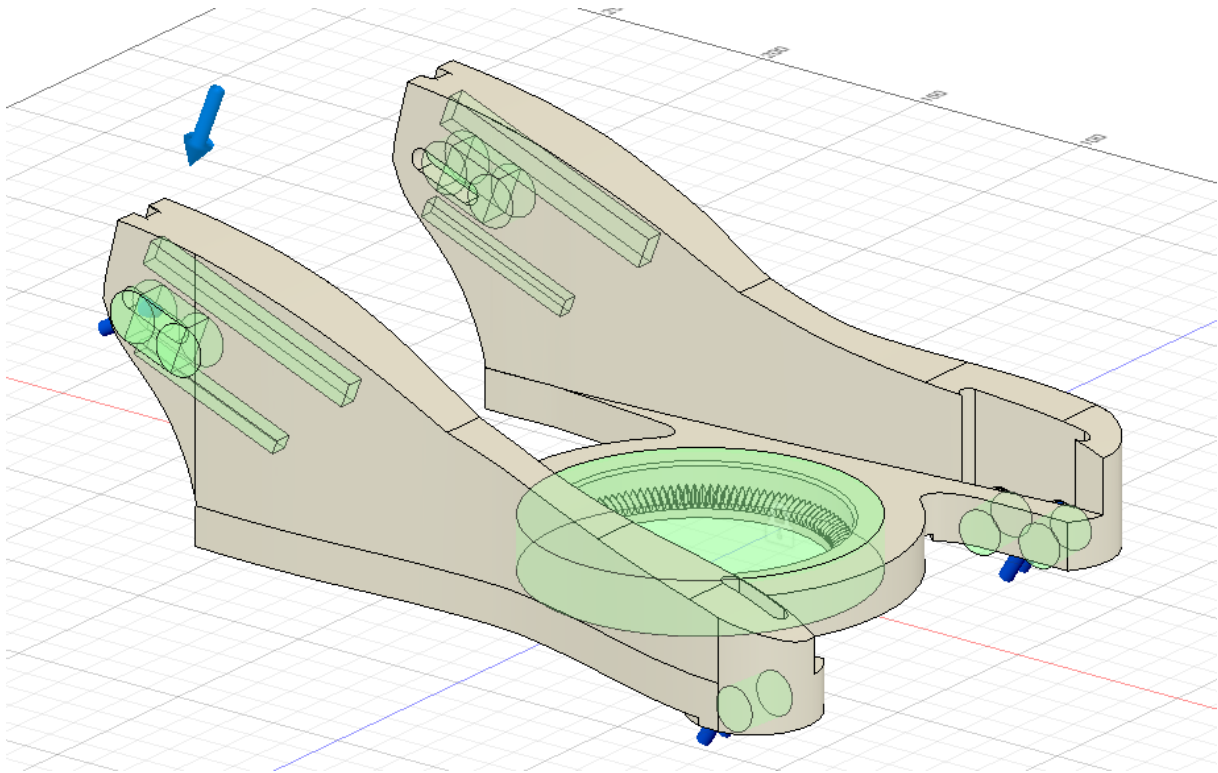


Figura 63: Spazio di progettazione con forze e zone escluse

In figura 63 si vede lo spazio di progettazione con le forze applicate, indicate dalle frecce blu, e le zone di interfaccia escluse dall'ottimizzazione, indicate con i volumi verdi. Le forze in questo caso simulano la plantarflexion.

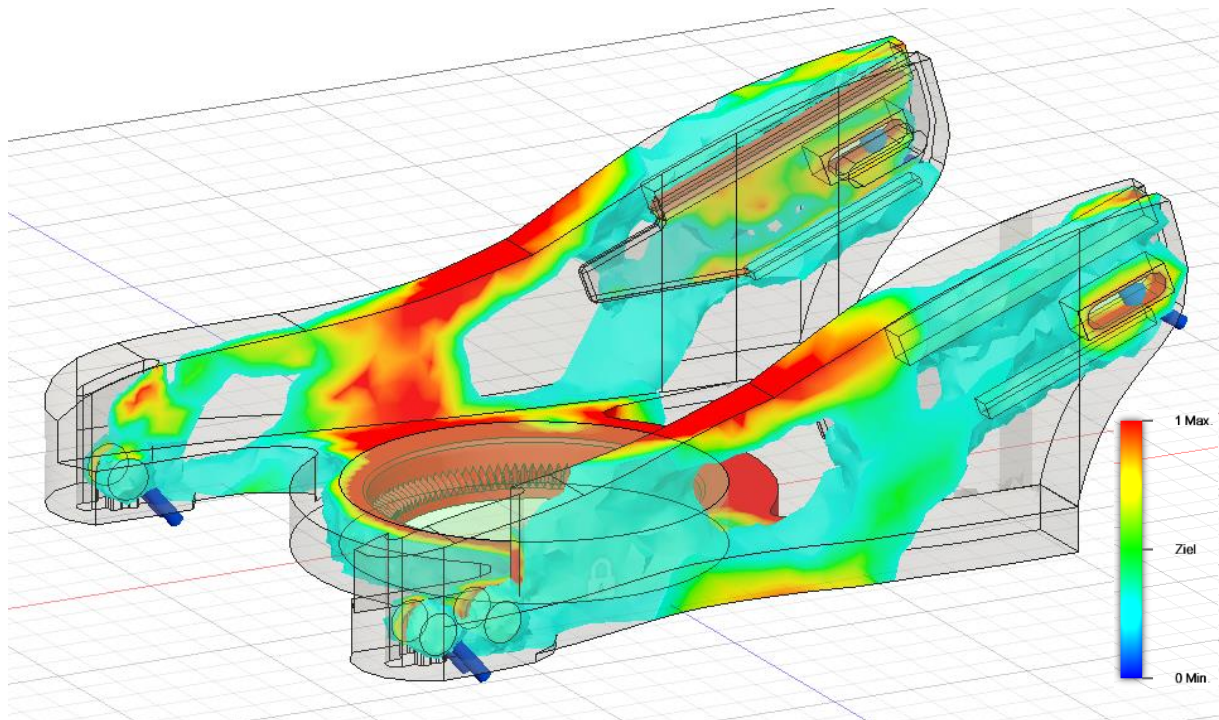


Figura 64: Output dell'ottimizzatore per il caso di carico dorsiflexion

Nella figura soprastante si vede l'output dell'ottimizzatore per il caso della dorsiflexion. Il software indica con una scala di colori le zone più o meno importanti per l'integrità della struttura e va da rosso, molto importante, a blu, trascurabile per la rigidità.

Una volta effettuata questa procedura per ogni caso di carico, i risultati sono stati convertiti in modelli di superficie, che poi sono stati sovrapposti. Si ottiene così un modello unico che incorpora tutti i risultati dell'ottimizzazione e che dà ottimi suggerimenti di geometria per la seguente fase di modellazione.

6.6 Modellazione

Come già si vede nelle immagini soprastanti, l'output dell'ottimizzatore è tutt'altro che un modello gradevole, ma è in prima linea un suggerimento al progettista di una disposizione opportuna di materiale. Da qui il compito del progettista è quello di trovare la forma che segue i suggerimenti strutturali dell'ottimizzazione e che soddisfa anche tutti gli altri requisiti, le quali sono l'usabilità, il comfort e per un prodotto di questo tipo indispensabile, l'estetica.

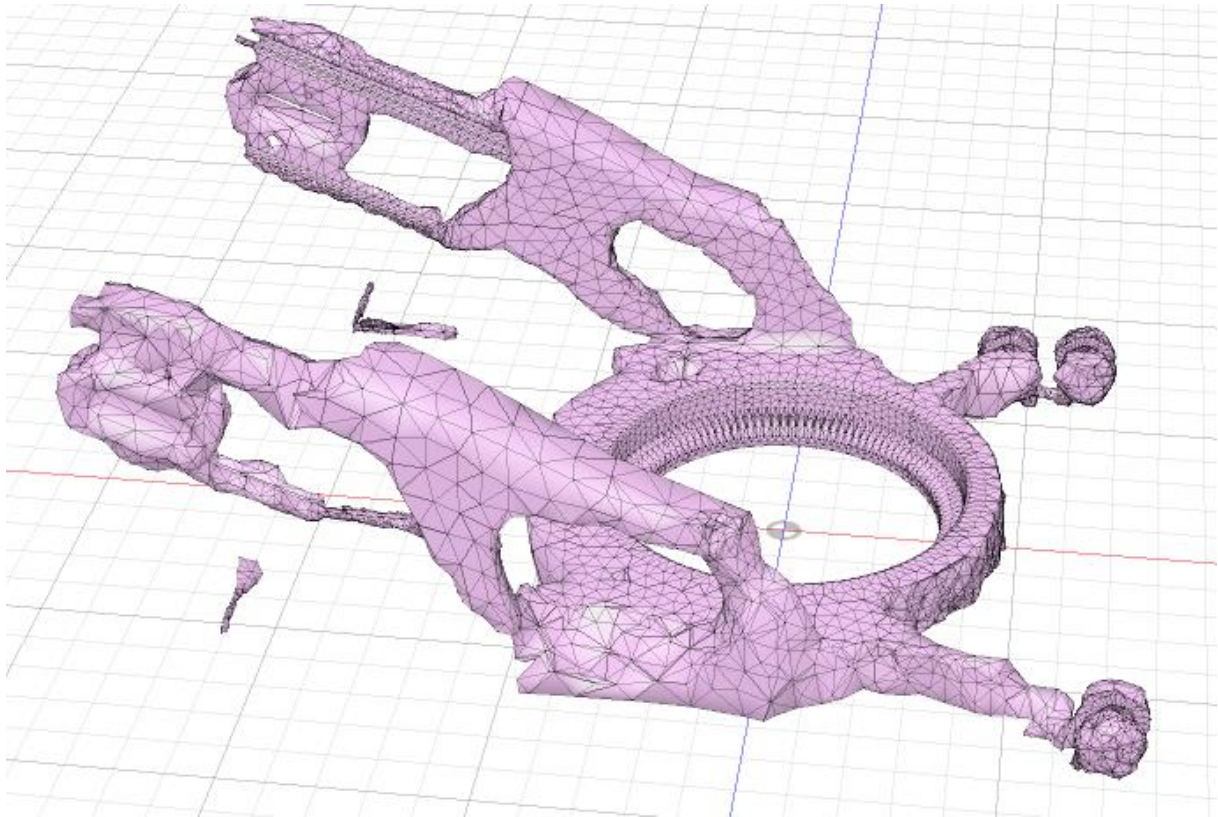


Figura 65: Output della fase di ottimizzazione topologica

Quello che si vede nella figura 65 è l'output della fase di ottimizzazione topologica per un caso di carico, un modello a superficie.

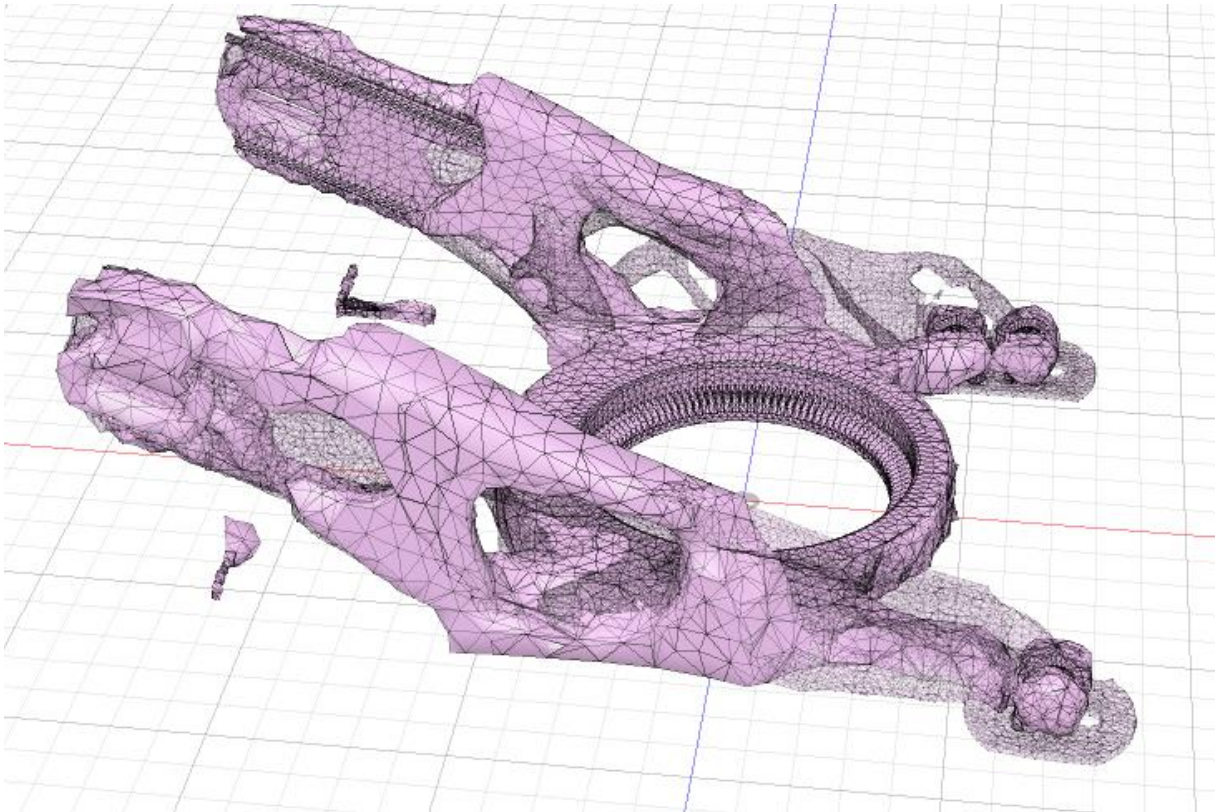


Figura 66: Modelli ottimizzati sovrapposti

Tutti i modelli ottimizzati sovrapposti danno già una prima idea della geometria del baseplate. La forma che si vede nella figura 66 è stata utilizzata come layout per la modellazione.

La modellazione è stata svolta in più step e su due software diversi. Da una parte c'è tutta la parte strutturale del baseplate, che non ha tanti vincoli geometrici, ma deve essere rigido e allo stesso tempo leggero. Questa parte dell'attacco si è prestato molto bene alla modellazione freeform a superfici effettuata con il software "Fusion 360".

Ho deciso di creare la struttura con forme molto morbide e organiche. Questo principalmente per due motivi:

- Uno perché geometrie di transizione morbide riducono i picchi di tensione presenti negli spigoli e permettono una distribuzione molto più omogenea delle tensioni.
- L'altro motivo è quello di voler sottolineare l'applicazione dell'ottimizzazione topologica anche con il design stesso, che sia totalmente diversa, innovativa e si differenzi da tutto quello che attualmente esiste in commercio.

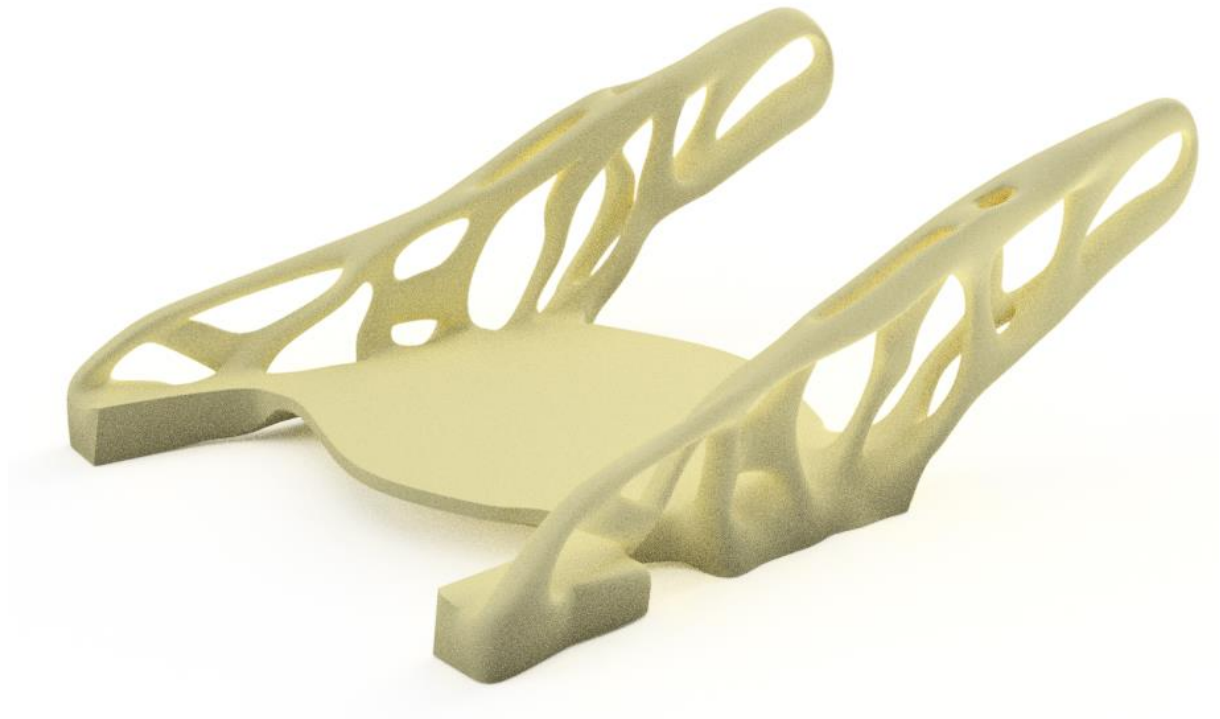


Figura 67: Parte strutturale del baseplate modellato con "Fusion 360"

In un secondo step, il modello freeform a superficie è stato convertito in un modello volumetrico ed esportato per la successiva modellazione su "Inventor Professional 2019". Come descritto in precedenza, il baseplate ha tre geometrie di interfaccia per interfacciarsi con gli altri componenti dell'attacco. Ognuna con una geometria ben definita. Queste geometrie sono state inserite nel modello freeform attraverso la modellazione parametrica. Il risultato di questo ultimo step di modellazione si vede nelle immagini seguenti.

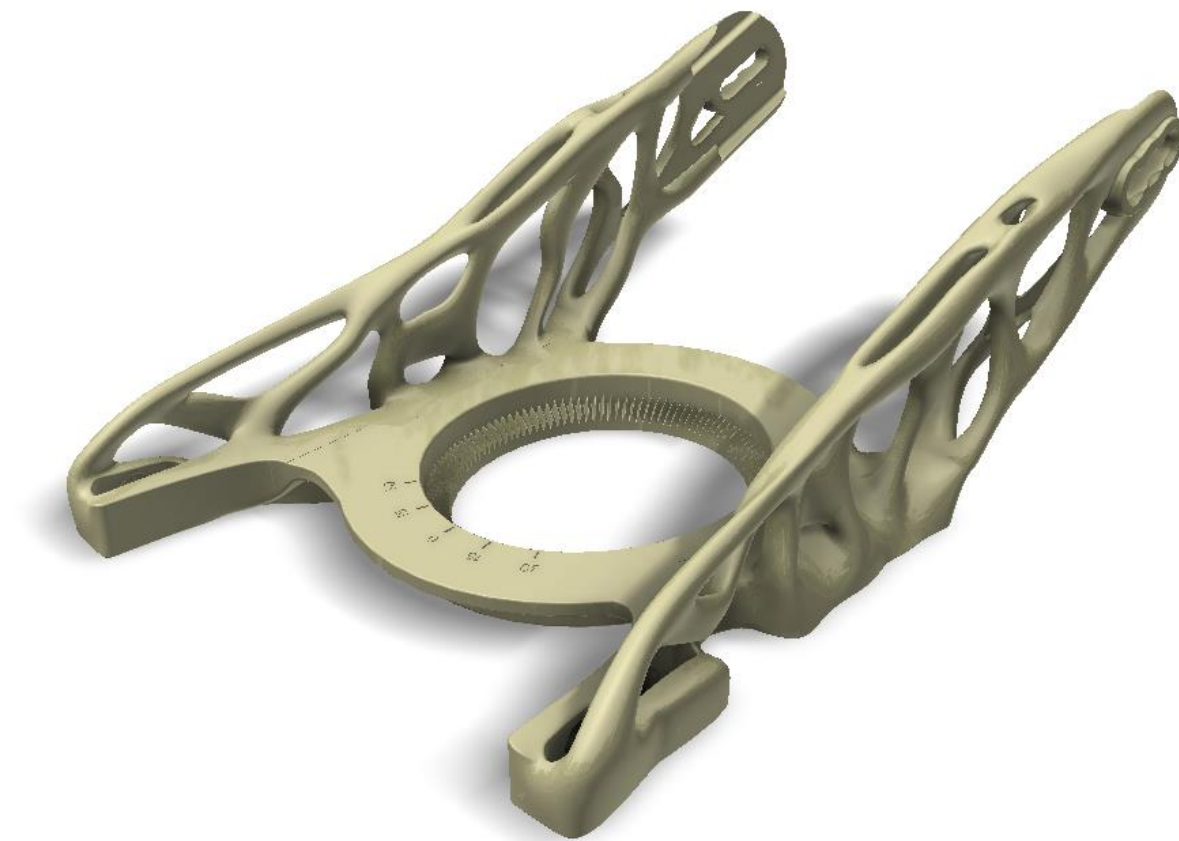


Figura 68: Vista prospettica dell'intero baseplate



Figura 69: Dettaglio dell'integrazione dell'interfaccia con heelcup e anklestrap

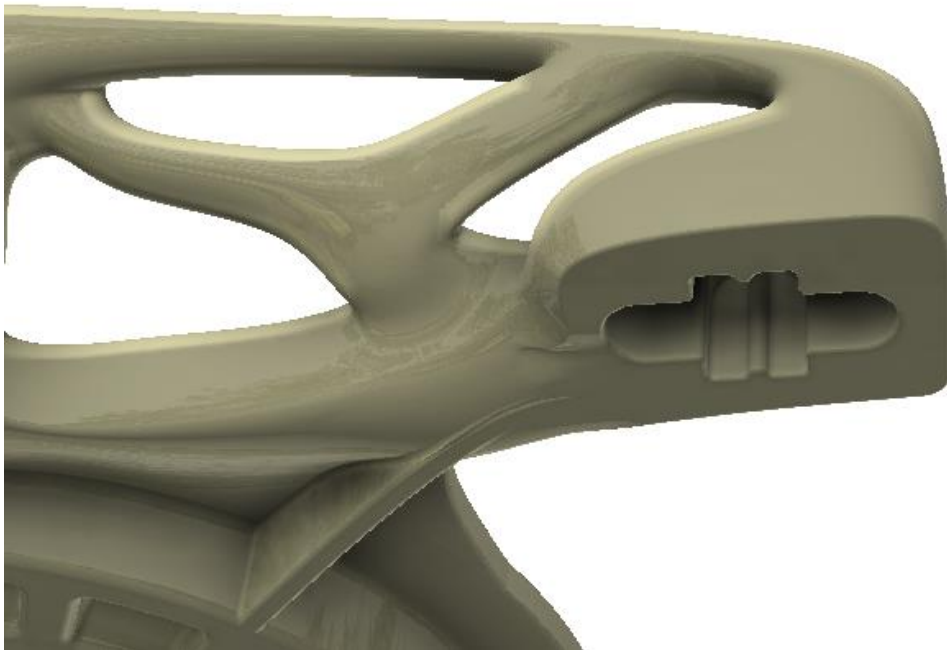


Figura 70: Dettaglio dell'interfaccia toestrap



Figura 71: Vista prospettica dell'intero baseplate da sotto

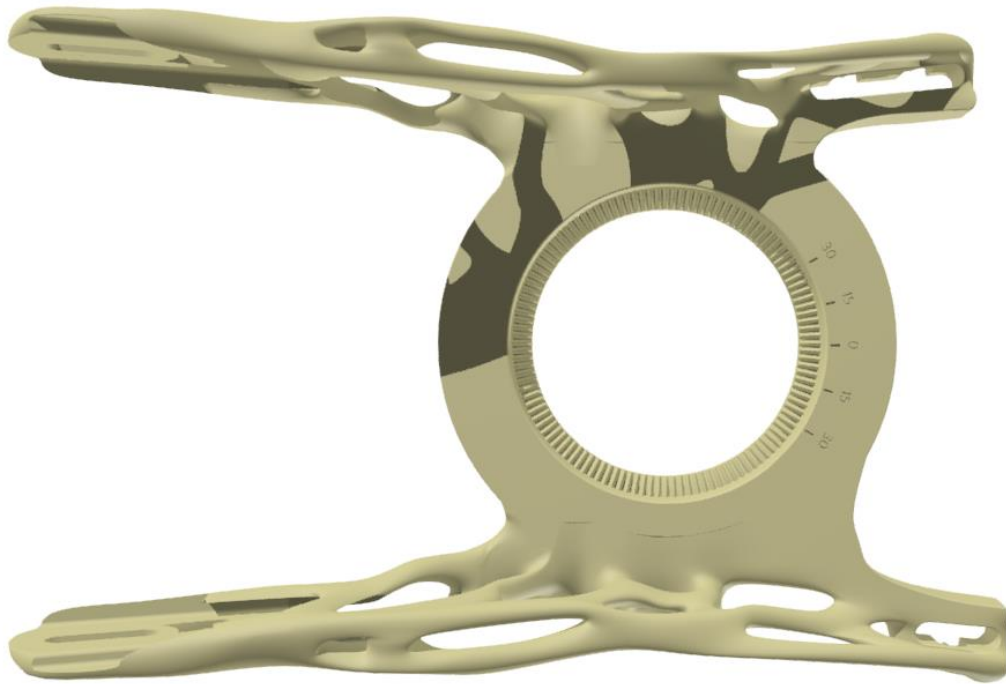


Figura 72: Vista da sopra

6.7 Realizzazione del prototipo

Il prototipo è stato realizzato attraverso la stampa 3D con la stampante HP MJF 4200 dell'azienda "Union Binding Company" in materiale "HP 3D High Reusability PA 12" (dati tecnici in allegato), un Nylon 12 in polvere ottimizzato per la stampa 3D. Nella tabella sottostante è riportato un confronto tra il materiale stampato ad iniezione dell'attacco "Falcor" e i valori individuati in laboratorio per il materiale stampato con la stampante 3D (risultati delle prove in allegato). Si notano differenze nei valori, tra cui il modulo elastico impatta principalmente sulle analisi della deformazione. Sono stati stampati due esemplari, di qui uno è stato utilizzato per effettuare un'analisi di deformazione attraverso la tecnologia DIC i cui risultati sono riportati in seguito.

Materiale	Modulo elastico [GPa]	Tensione di rottura [MPa]	Resistenza all'impatto (Charpy temperatura ambiente) [KJ/m²]
Akulon K224 – PG6	5.5-8.5	100-145	23-43
HP 3D High Reusability PA 12	0.92	40	5.6

Tabella 4: Confronto delle proprietà meccaniche tra il materiale dell'attacco "Falcor" stampato ad iniezione e il materiale del prototipo stampato in 3D



Figura 73: Foto del prototipo stampato con pattern stocastico applicato

6.8 Risultati delle performance con analisi FEM

Lo scopo principale di questo lavoro è stato quello di creare un baseplate più performante in confronto a quelli già in commercio, perciò il modello finale è stato sottoposto a delle analisi FEM per confrontarlo con l'attacco "Falcor" dell'azienda "Union Binding Company".

6.8.1 Peso

Come scritto in precedenza, uno degli obiettivi è stato quello di ridurre il peso del baseplate. Rimuovendo materiale nelle zone che hanno un piccolo o nessun contributo sulla rigidità, si è ottenuto un peso finale di 148g. In confronto, il baseplate dell'attacco "Falcor", usato come riferimento, ha un peso di 191g. È una diminuzione di peso del 22.5% ed un risparmio notevole di materia prima. I valori sono basati sui modelli digitali in materiale identico.

La riduzione del peso è stata vincolata dalla volontà di mantenere le geometrie di interfaccia e per la volontà di nascondere la parte finale del heelcup. Il baseplate altrimenti non si sarebbe integrato tra gli altri componenti come l'heelcup e gli strap. Se non ci fossero stati questi vincoli, sarebbe stato possibile ridurre ulteriormente il peso.

6.8.2 Rigidità

La rigidità è stata testata sia per la dorsiflexion che per la plantarflexion, per tutti e due i baseplate in materiale identico, con il software "Fusion 360" dell'azienda "Autodesk". Per ogni

caso di carico, le forze applicate e i vincoli impostati ai due attacchi sono state le stesse. Anche la scala dei colori è uguale per entrambi le analisi. Oltre al confronto dello spostamento attraverso la scala dei colori, ho segnato quattro punti di campionamento, ognuno in un punto di interfaccia con un altro componente. Lo spostamento di questi quattro punti equivale circa allo spostamento dello scarpone, che risulta in una reattività minore.

6.8.3 Confronto della rigidità nella plantarflexion

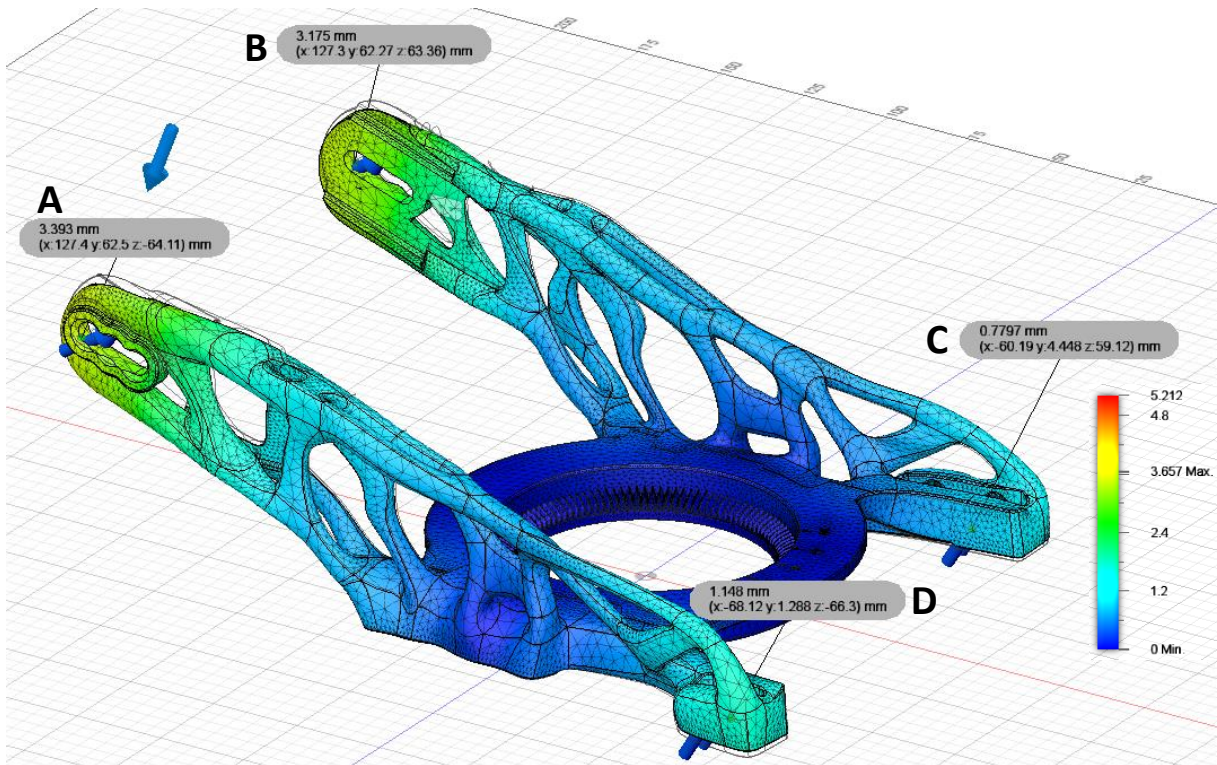


Figura 74: Spostamento plantarflexion dell'attacco ottimizzato

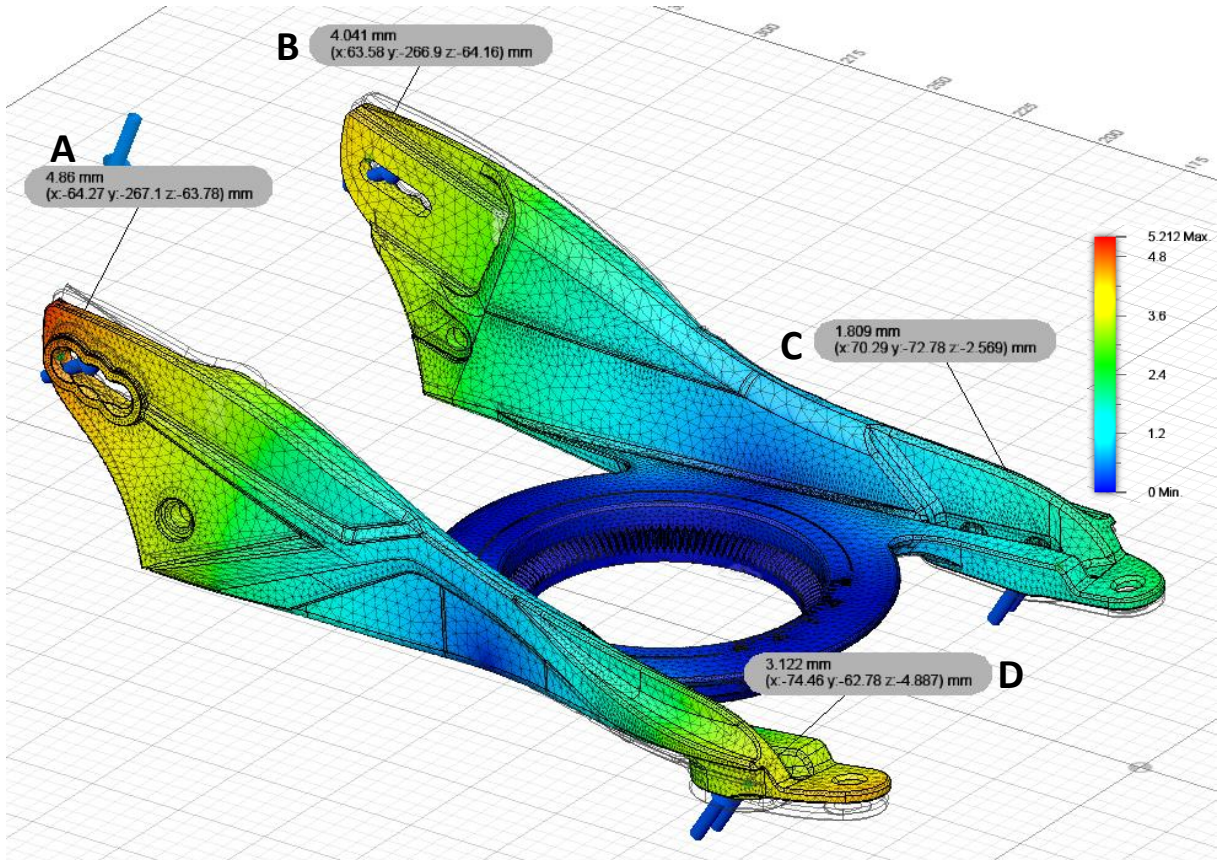


Figura 75: Spostamento plantarflexion dell'attacco "Falcor"

Punto	Attacco "Falcor"	Attacco ottimizzato	Rigidità
A	4.860mm	3.393mm	+30.2%
B	4.041mm	3.175mm	+21.4%
C	1.809mm	0.780mm	+56.9%
D	3.122mm	1.148mm	+63.2%

Tabella 5: Confronto della rigidità dei quattro punti di interfaccia nella plantarflexion

Nelle figure 74 e 75 si vede lo spostamento complessivo dei due baseplate sotto un carico identico di tipo plantarflexion.

Dalla scala dei colori si nota uno spostamento più piccolo in ogni parte dell'attacco ottimizzato con un valore massimo di 3.657mm. Il valore massimo per il baseplate "Falcor" è di 5.212mm. Per l'utilizzo però è molto più importante lo spostamento dei quattro punti segnati. Mentre nei punti A e B, che indicano i punti di interfaccia con il heelcup e l'anklestrap, l'incremento è circa del 20-30%, nei punti C e D, l'interfaccia con i toestraps, l'incremento è ben oltre i 55%. In pratica questo incremento di rigidità nella plantarflexion risulta in una risposta più diretta nella curva sui talloni con una miglior tenuta delle dita.

6.8.4 *Confronto della rigidità nella dorsiflexion*

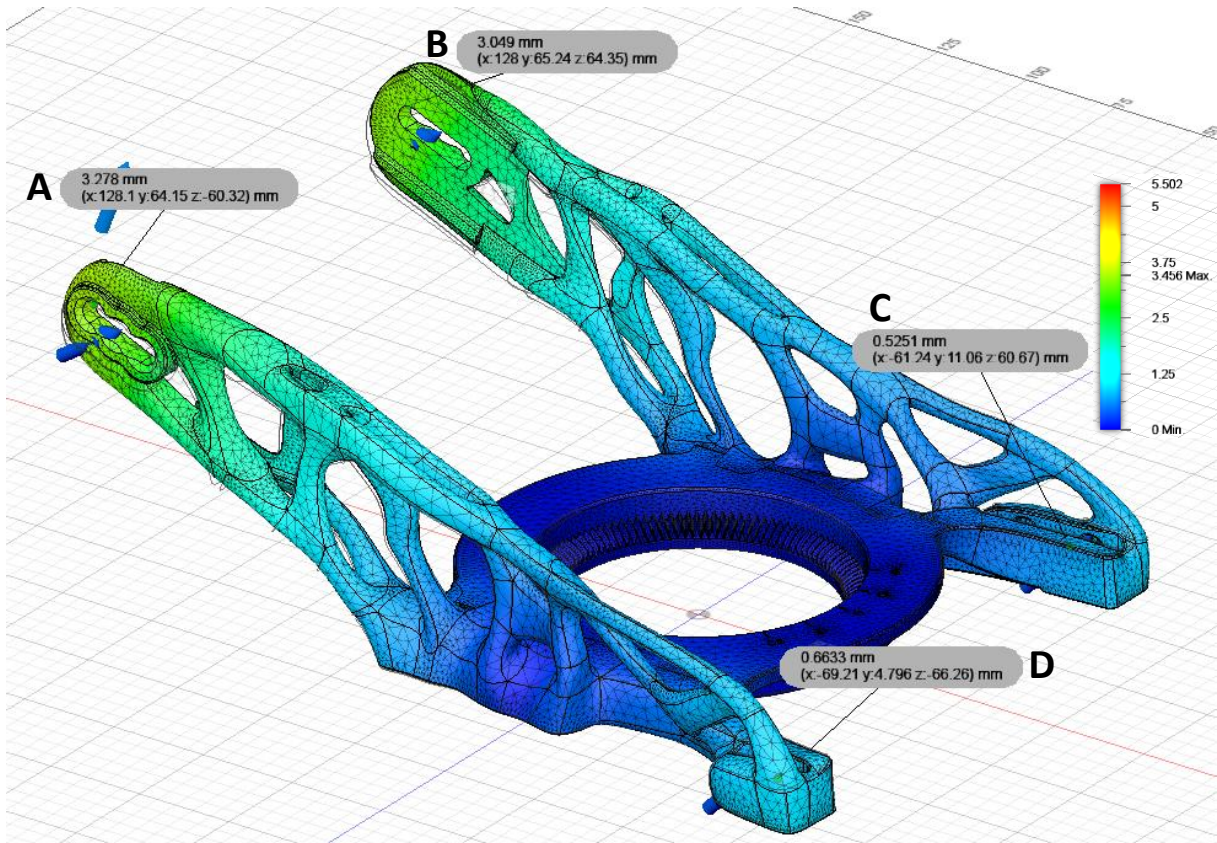


Figura 76: Spostamento dorsiflexion dell'attacco ottimizzato

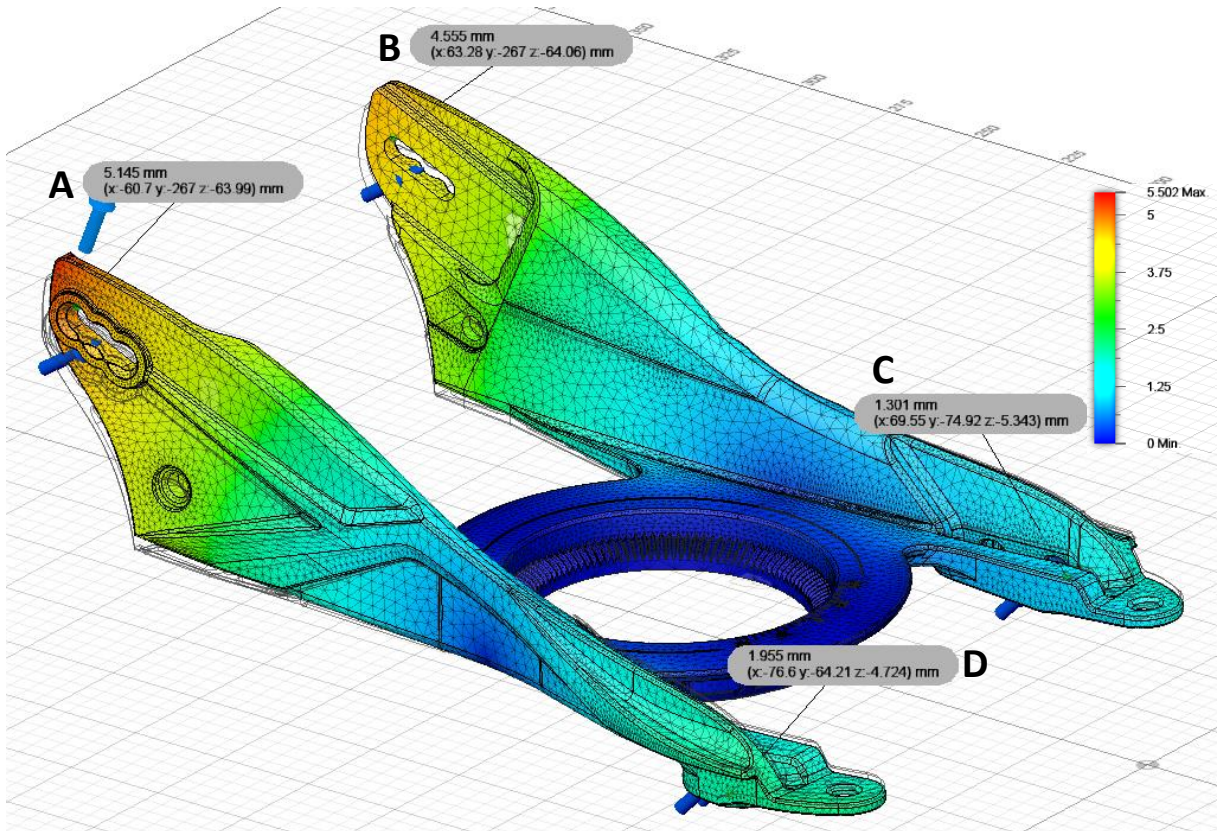


Figura 77: Spostamento dorsiflexion dell'attacco "Falcor"

Punto	Union	Attacco ottimizzato	Rigidità
A	5.145mm	3.278mm	+36.3%
B	4.555mm	3.049mm	+33.1%
C	1.301mm	0.525mm	+59.6%
D	1.955mm	0.663mm	+66.1%

Tabella 6: Confronto della rigidità dei quattro punti di interfaccia nella dorsiflexion

Nelle figure 76 e 77 si vede lo spostamento complessivo dei due baseplate sotto un carico identico di tipo dorsiflexion.

Anche in questo confronto lo spostamento complessivo in generale è più contenuto sull'attacco ottimizzato. Il valore massimo è di 3.456mm del baseplate ottimizzato e di 5.502mm del baseplate "Falcor". Se confrontiamo i quattro punti di campionamento dell'analisi della dorsiflexion con quelli della plantarflexion si nota un incremento maggiore in ogni punto. In dettaglio, la rigidità dei punti A e B è aumentata di ben oltre i 30%, mentre quella dei punti C e D addirittura dai 59% ai 66%. Questo aumento di rigidità risulta in un sollevamento minore del tallone nella curva in avanti, e quindi in un feeling più diretto.

6.8.5 Tensioni “von Mises”

La tensione di “von Mises” è una tensione equivalente, che incorpora tutte le tensioni triassiali e tangenziali che agiscono su un volume di controllo e le riporta a una tensione monoassiale che può essere confrontata ai valori empirici derivanti dalle prove di trazione. Le analisi FEM di seguito sono state fatte, con il software “Fusion 360” dell’azienda “Autodesk”, per la plantarflexion e la dorsiflexion, all’interno del caso di carico con le stesse forze e vincoli applicati.

6.8.6 Confronto delle tensioni "von Mises" nella plantarflexion

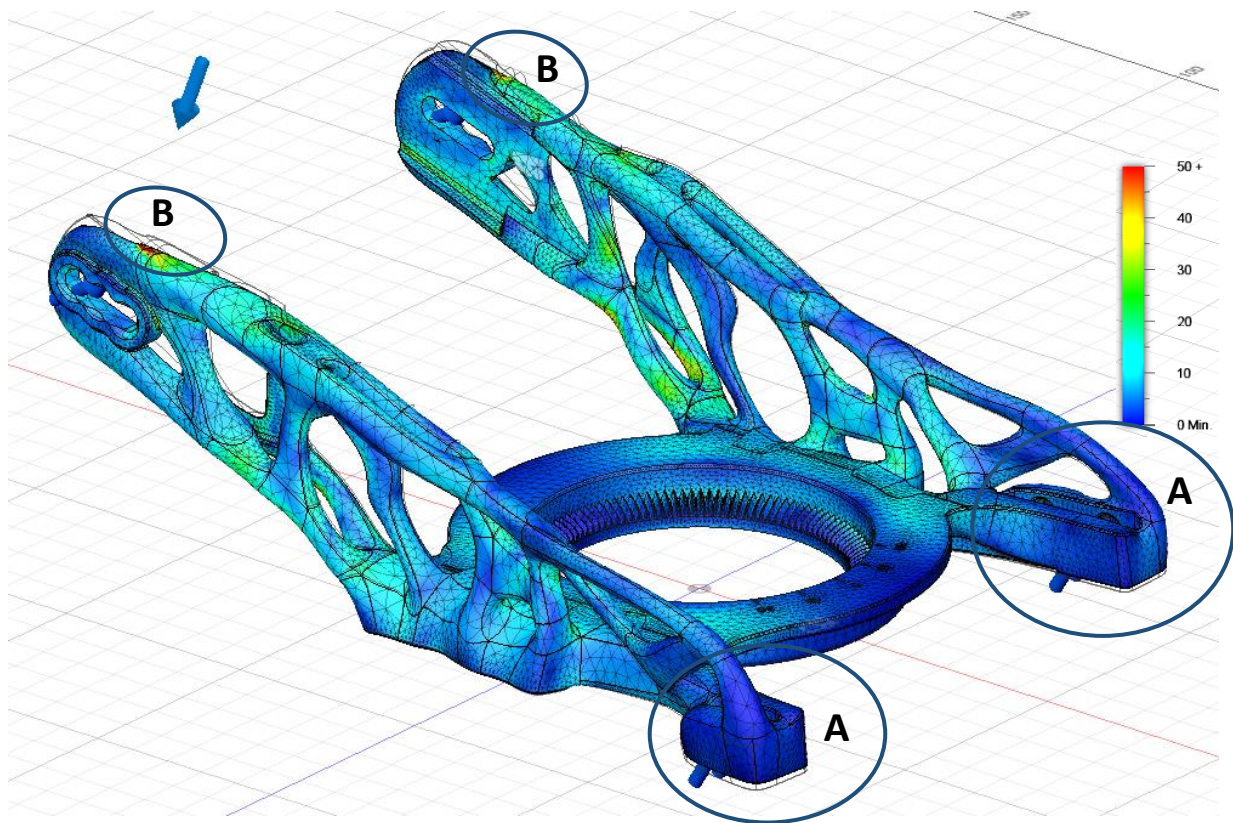


Figura 78: Tensioni "von Mises" nella plantarflexion dell'attacco ottimizzato

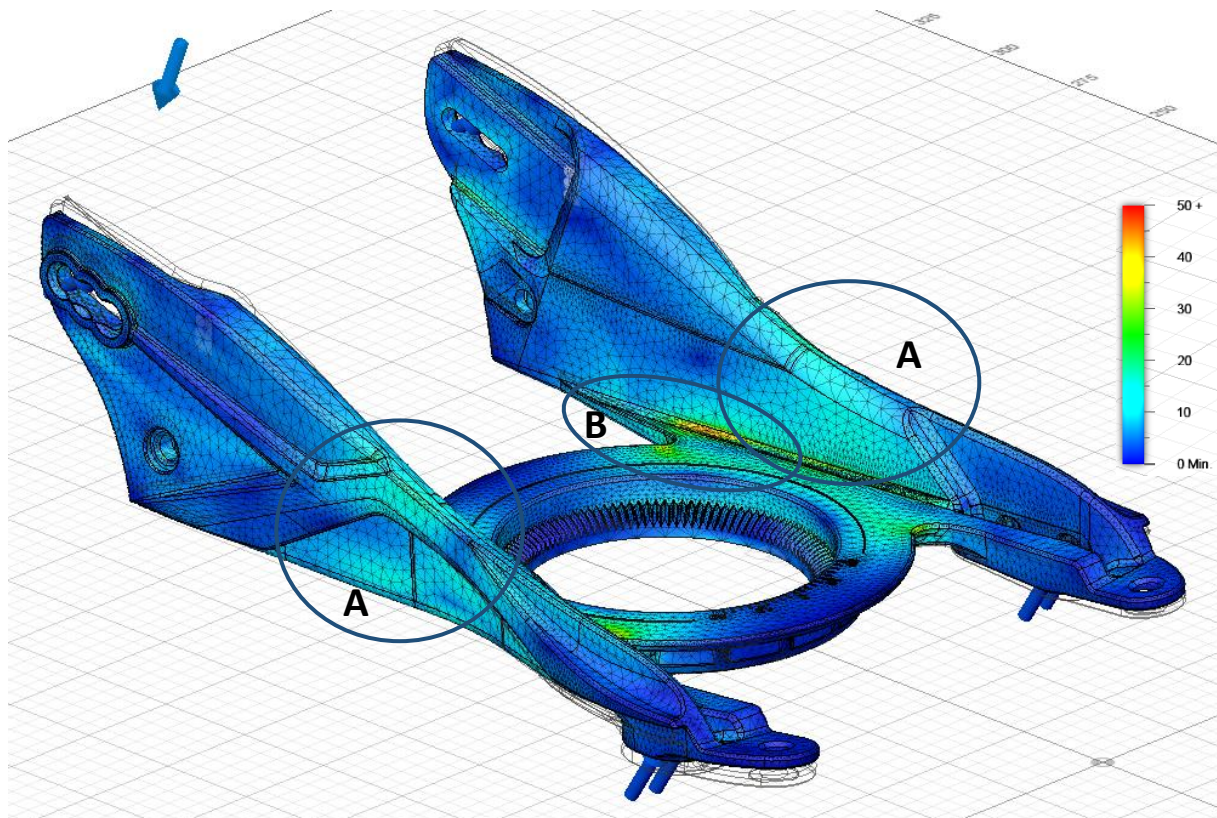


Figura 79: Tensioni "von Mises" nella plantarflexion dell'attacco "Falcor"

Entrambi gli attacchi sono in grado di supportare i carichi di plantarflexion impostati senza oltrepassare il carico di snervamento in nessuna zona. Nell'analisi del baseplate "Falcor" si nota una concentrazione di tensione nelle zone centrali indicati nella figura 79 con la lettera A e un picco nello spigolo tra la parte orizzontale e quella verticale, zona B. Nell'analisi dell'attacco ottimizzato la tensione si distribuisce in modo più uniforme sulla struttura, questo vuol dire che tutto il materiale impiegato da un contributo simile sull'integrità del pezzo. Un'eccezione è nelle zone indicate con la lettera A che risultano un po' più scariche e quindi potrebbero essere assottigliate ulteriormente. Nelle zone B della figura 78 invece viene superato il limite di snervamento del materiale, ma in questo caso si tratta di un errore dovuto al metodo di applicazione delle forze del software.

6.8.7 Confronto delle tensioni "von Mises" nella dorsiflexion

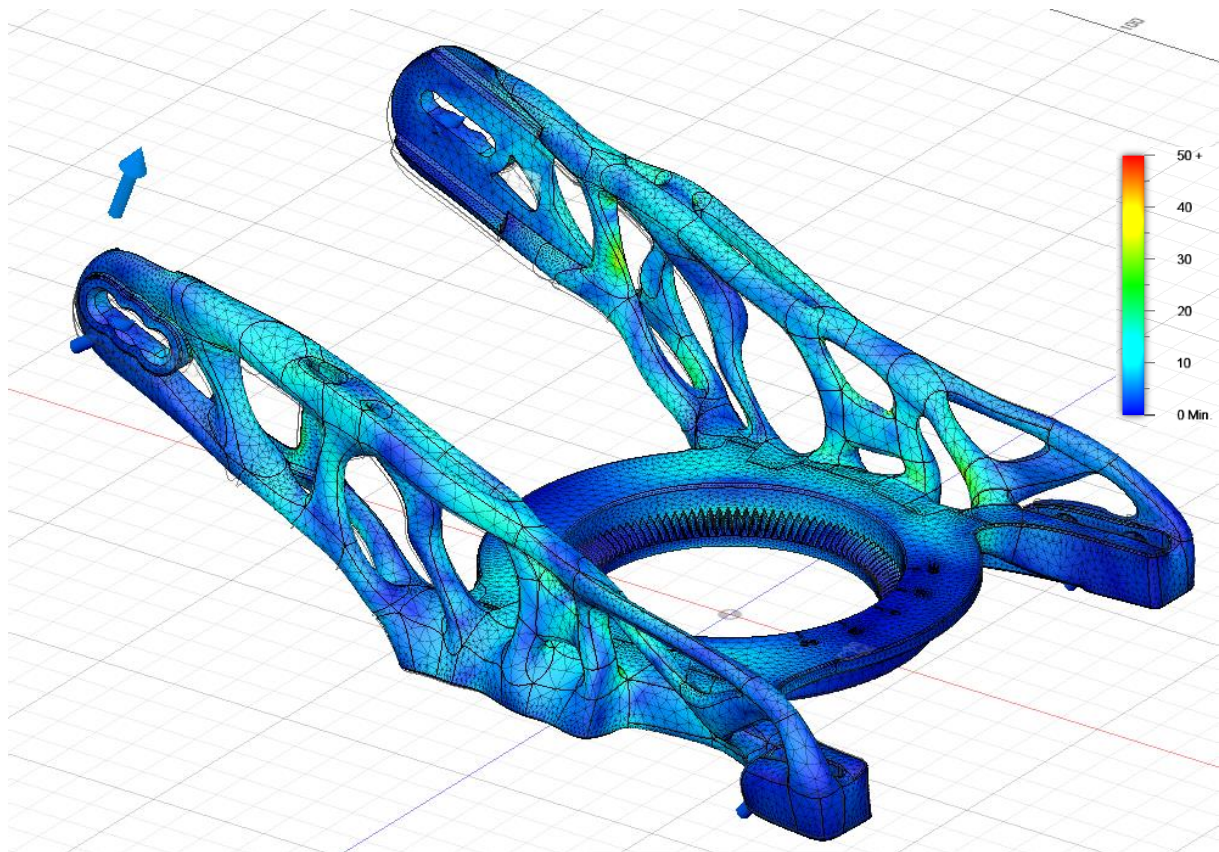


Figura 80: Tensioni "von Mises" nella dorsiflexion dell'attacco ottimizzato

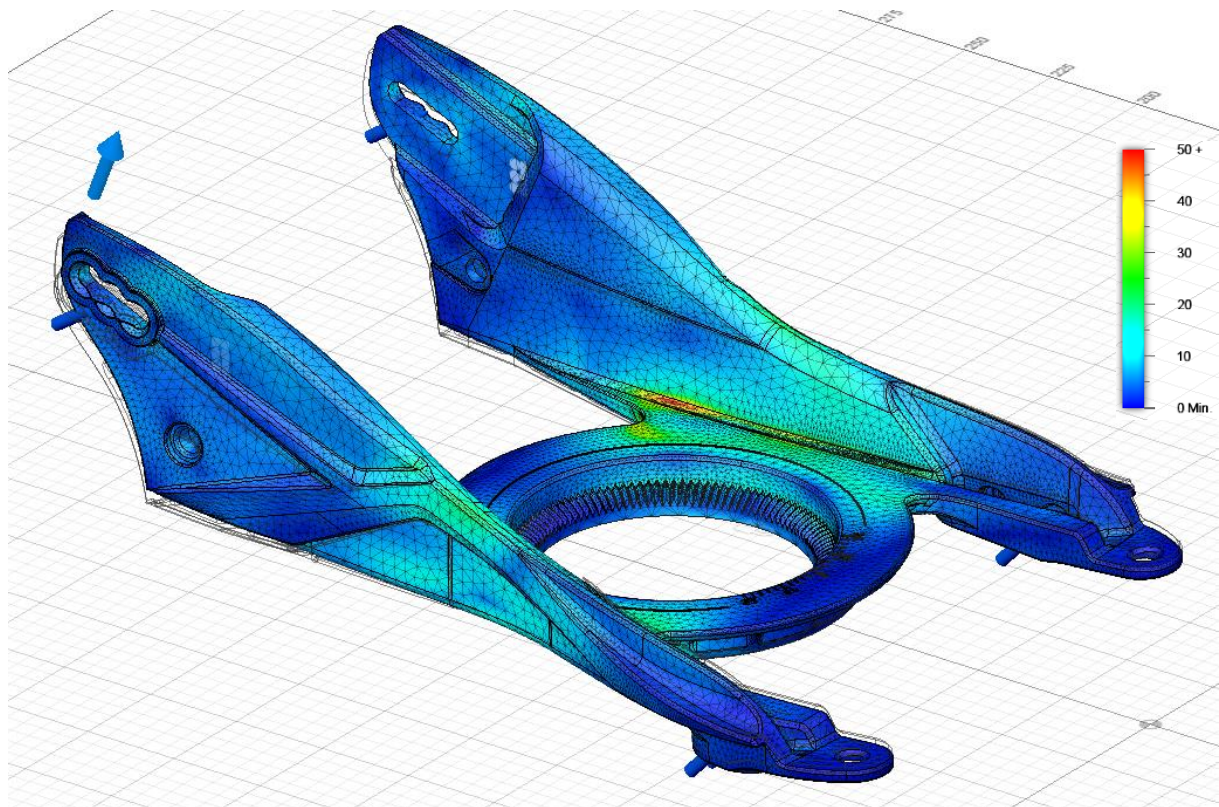


Figura 81: Tensioni "von Mises" nella dorsiflexion dell'attacco "Falcor"

L'analisi FEM delle tensioni "von Mises" per la dorsiflexion è molto simile a quella discussa sopra sulla plantarflexion. Anche in questo caso si nota una distribuzione delle tensioni più omogenea nel baseplate ottimizzato.

6.9 Performance del prototipo

Per confermare i risultati ottenuti con l'analisi FEM, il prototipo stampato in 3D è stato sottoposto a un confronto diretto con il baseplate dell'attacco modello "Falcor". Le prove riportate di seguito sono state fatte sempre con gli stessi parametri per entrambi i baseplate:

- Velocità $v = 300 \text{ mm}/\text{min}$
- Carico massimo del dinamometro per la flessione in avanti (dorsiflexion) $Fm = 150N$
- Carico massimo per la flessione in dietro (plantarflexion) $Fm = 150N$

6.9.1 *Peso*

Entrambi i baseplate stampati con la stampante 3D sono stati pesati con un risultato che conferma la riduzione di peso. Per il baseplate dell'attacco "Falcor" è stato pesato un peso di 182g, mentre il prototipo pesa 130g, una riduzione di ben 28,6%.



Figura 82: Peso del baseplate "Falcor"



Figura 83: Peso del prototipo

6.9.2 *Rigidità*

Per confrontare la rigidità dei baseplate, questi sono stati sottoposti a un'analisi con la tecnologia DIC per controllare le deformazioni e lo spostamento e contemporaneamente a una prova di flex. Le analisi sono state effettuate in modo analogo a quelli fatti in precedenza. Per questo confronto c'è da considerare che i risultati corrispondono al sistema attacco-scarpone.

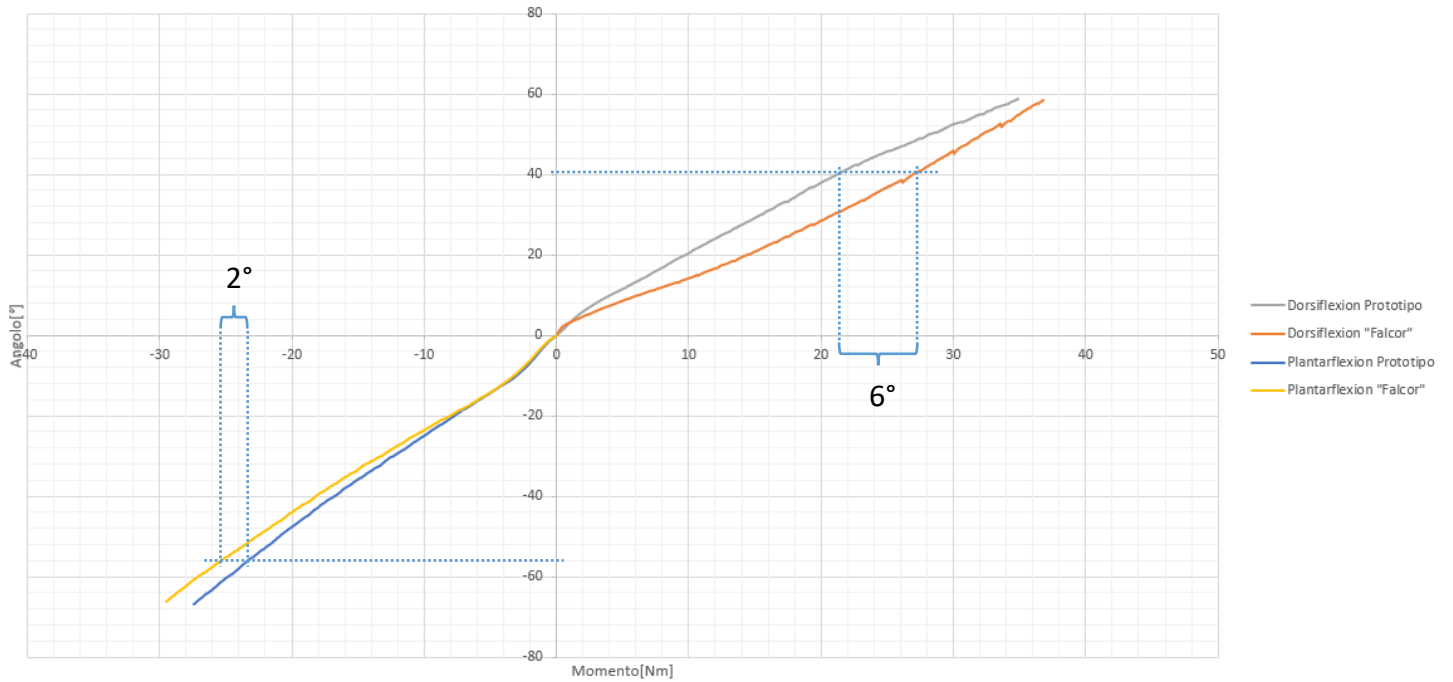


Figura 84: Confronto del flex dei due baseplate

In figura 84 si vedono i grafici del flex per entrambi i baseplate sia in plantarflexion che in dorsiflexion. Il prototipo è più rigido sia nella plantarflexion che nella dorsiflexion. Prendendo due punti di campionamento nel grafico, si vede una diminuzione di 2° per un momento torcente di 56Nm nella plantarflexion e ben 6° per un momento torcente di 40Nm nella dorsiflexion. Questo risultato conferma il risultato dell'analisi FEM sulla rigidità, che indicava un miglioramento più accentuato per la dorsiflexion.

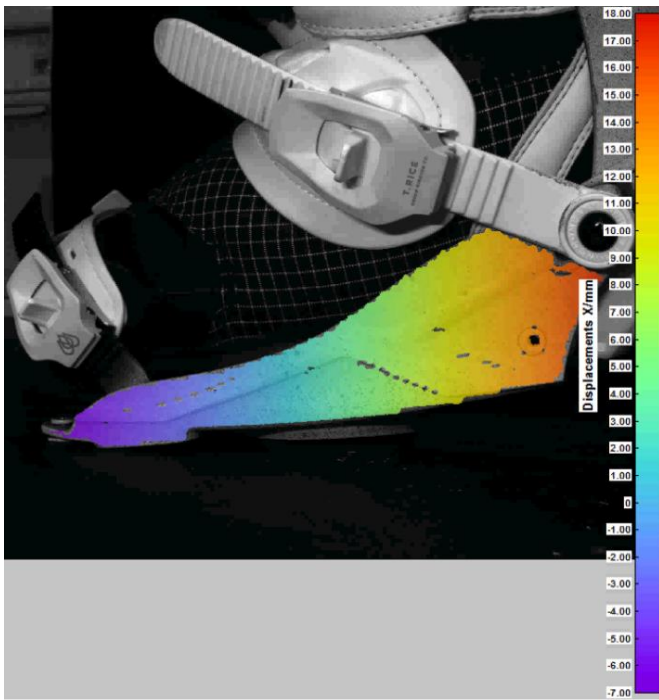


Figura 85: Spostamento verticale del baseplate "Falcor" nella dorsiflexion

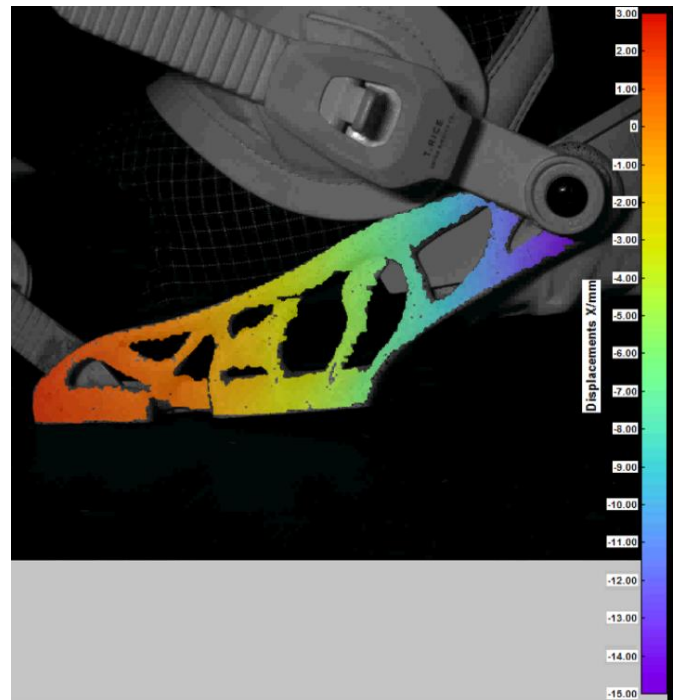


Figura 86: Spostamento verticale del prototipo nella dorsiflexion

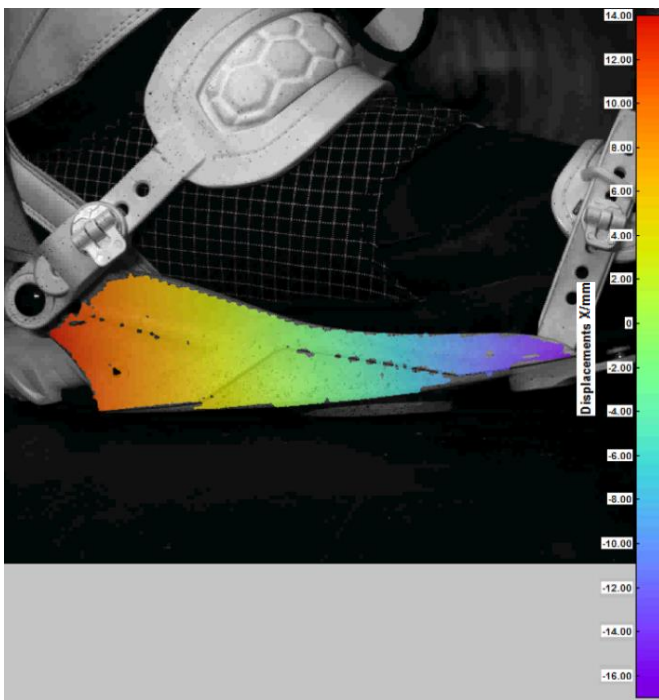


Figura 87: Spostamento verticale del baseplate "Falcor" nella plantarflexion

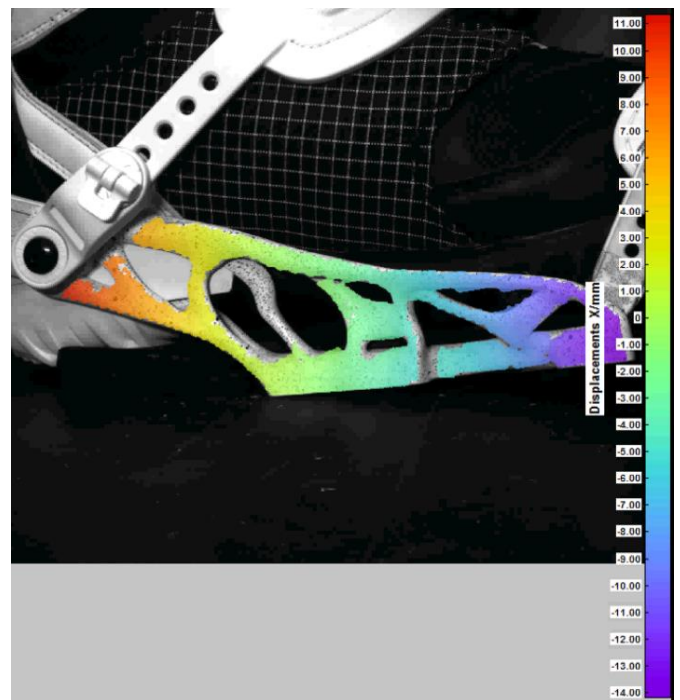


Figura 88: Spostamento verticale del prototipo nella plantarflexion

Lo spostamento in direzione verticale del prototipo è minore per ogni zona e per entrambi i casi di carico. Nella figura 85 l'asse verticale è invertito.

6.9.3 Deformazione e confronto tra l'analisi FEM e l'analisi DIC

La deformazione dei baseplate è stata analizzata con la tecnologia DIC. È stato utilizzato il sistema della "Dantec Dynamics". Nelle analisi FEM sotto riportati sono stati importati i parametri del materiale stampato 3D.

6.9.4 Confronto della deformazione nella plantarflexion

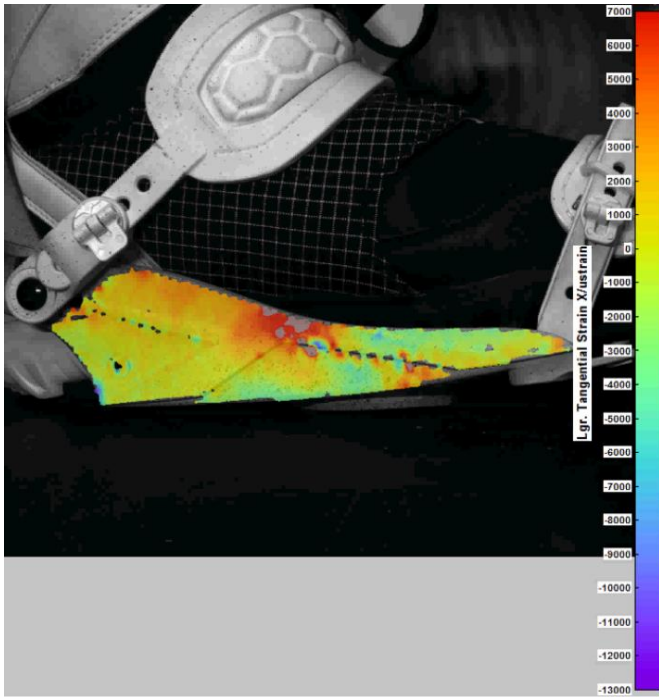


Figura 89: Deformazione orizzontale, analizzata con la tecnologia DIC, del baseplate "Falcor" nella plantarflexion

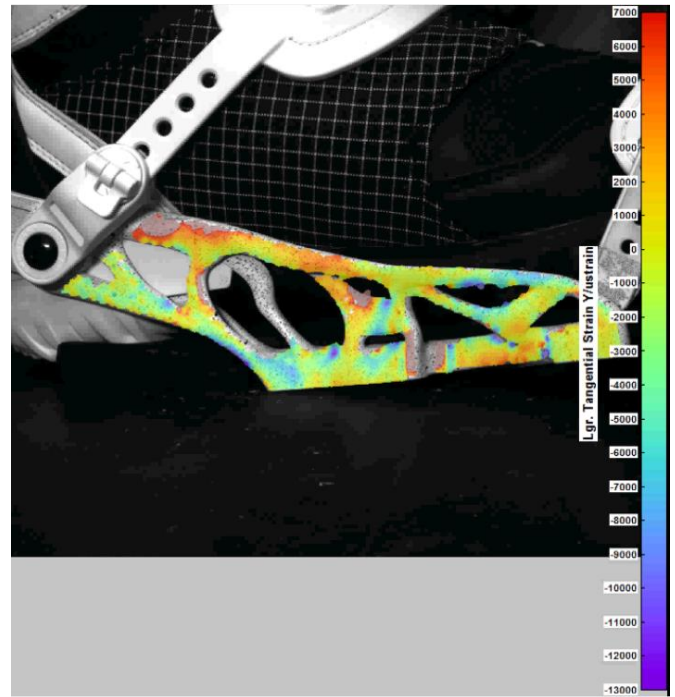


Figura 90: Deformazione orizzontale, analizzata con la tecnologia DIC, del prototipo nella plantarflexion

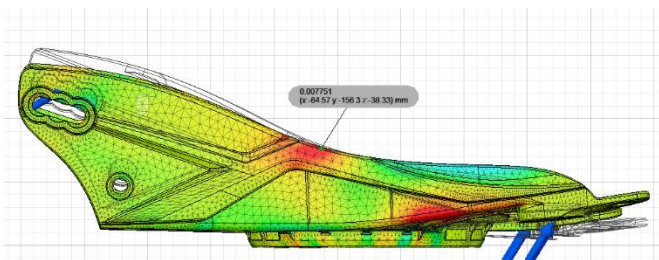


Figura 91: Deformazione orizzontale, analizzata con il metodo FEM, del baseplate "Falcor" nella plantarflexion

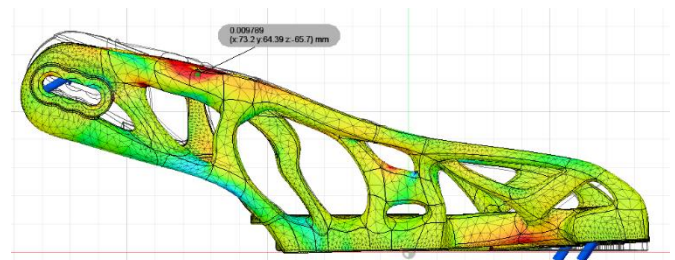


Figura 92: Deformazione orizzontale, analizzata con il metodo FEM, del prototipo nella plantarflexion

Nella figura 89 si nota una forte concentrazione di deformazione nella sezione centrale tra anklestrap e toestrap. Entrambi i baseplate subiscono deformazioni di entità simile, quello che cambia è la distribuzione di esse. Nella figura a destra si nota un picco in vicinanza del anklestrap, sul resto del baseplate la deformazione si distribuisce in maniera più uniforme. Le analisi effettuate con la tecnologia DIC si rispecchiano qualitativamente e quantitativamente molto bene con l'analisi FEM.

6.9.5 *Confronto della deformazione nella dorsiflexion*

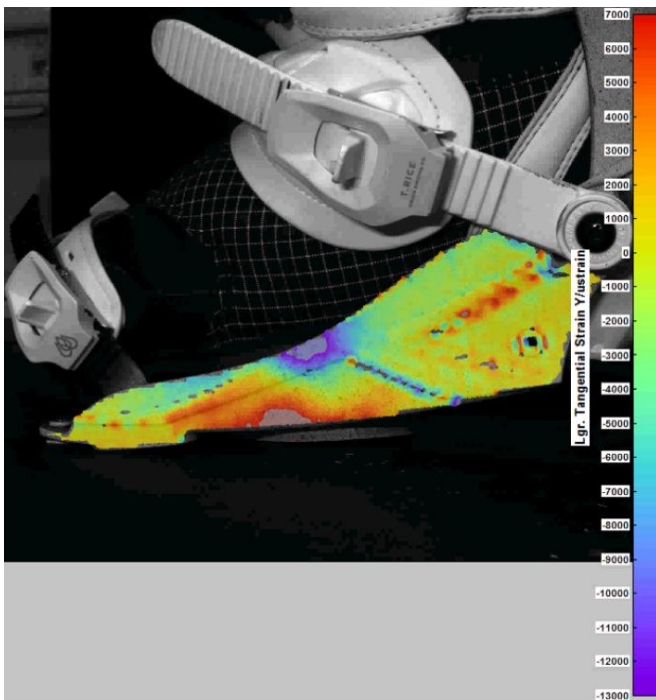


Figura 93: Deformazione orizzontale, analizzata con la tecnologia DIC, del baseplate "Falcor" nella dorsiflexion

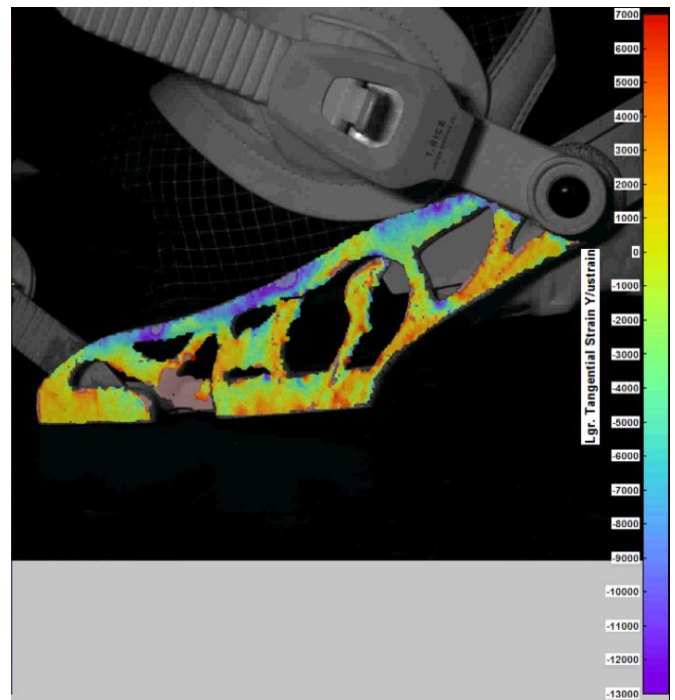


Figura 94: Deformazione orizzontale, analizzata con la tecnologia DIC, del prototipo nella dorsiflexion

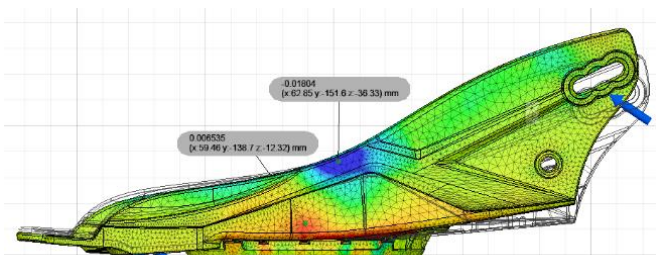


Figura 95: Deformazione orizzontale, analizzata con il metodo FEM, del baseplate "Falcor" nella dorsiflexion

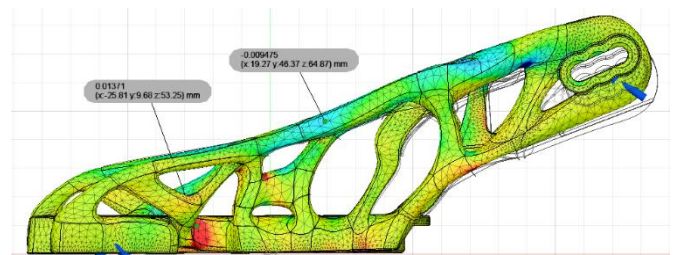


Figura 96: Deformazione orizzontale, analizzata con il metodo FEM, del prototipo nella dorsiflexion

Entrambi i baseplate sono sollecitati a compressione nella parte superiore e a trazione nelle sezioni inferiori. L'entità delle deformazioni subite nell'analisi DIC è molto simile tra i due attacchi. Si nota che nell'analisi del baseplate "Falcor", le deformazioni sono più concentrate nella zona centrale tra anklestrap e toestrap. Anche nel caso della dorsiflexion, i risultati dell'analisi DIC si correlano molto bene in termini di qualità e in misura con quelli dell'analisi FEM.

7 Conclusione e sviluppi futuri

Questo lavoro è da considerarsi un case study di un nuovo approccio innovativo di product development per lo sviluppo di prodotti che hanno un compito strutturale, attraverso il quale mi è stato possibile sviluppare un baseplate per un attacco da snowboard con prestazioni di peso e strutturali migliori rispetto all'attacco di riferimento disponibile sul mercato. Il prototipo ha dimostrato che attraverso l'applicazione di tecnologie come l'analisi DIC e l'ottimizzazione topologica è possibile individuare geometrie con una distribuzione di masse più efficiente. Questo nuovo metodo non è limitato allo sviluppo di attacchi da snowboard, ma può essere esteso in tantissimi altri ambiti, anche al di fuori da quello sportivo.

Il prodotto di questo studio è da considerarsi una prova preliminare di un approccio che andrà approfondito in studi successivi. In questo caso non è stata considerata la produzione attraverso il comune metodo più utilizzato, lo stampaggio ad iniezione. Per abbassare i costi di produzione, in futuro è possibile effettuare delle piccole modifiche alla forma per renderlo stampabile con un processo ad iniezione. In ogni modo, va considerato che l'approccio basato sulla stampa 3D come tecnologia di produzione fornisce il vantaggio di dare la possibilità di customizzazione il prodotto in base alle esigenze del cliente.

Indice delle figure

Figura 1: Foglio pubblicitario per il Snurfer (Vintagewinter)	1
Figura 2: Burton Performer del 1984 (Retrosnow)	2
Figura 3: Primo attacco con highback (Medium)	2
Figura 4: Primo attacco con highback della "Burton" del 1987 (Michigan Snowboard Museum)	3
Figura 5: Attacco Burton con highback a rimbalzo e strap con cricchetti del 1990 (Saltypeaks)	3
Figura 6: Tavola stile hard (Sg Snowboards)	4
Figura 7: Scarpone stile hard (Donek, 2019)	4
Figura 8: Attacco stile hard (Fun sport vision, 2019)	4
Figura 9: Tavola stile soft (Evo)	5
Figura 10: Scarpone stile soft (Skiis and Biikes)	5
Figura 11: Attacco stile soft modello tradizionale (The House - Union)	6
Figura 12: Attacco stile soft modello rear-entry (Flow Bindings)	6
Figura 13: Attacco stile soft modello step on (Zero g Chamoinx)	6
Figura 14: Formule di struttura del Nylon 6, Nylon 6.6 ed il copolimero dei due precedenti (Pazi, 2016/17)	8
Figura 15: Facet non deformati a sinistra, deformati a destra (GOM)	10
Figura 16: Principio della triangolazione (GOM)	11
Figura 17: Esempio di un componente prima e dopo l'ottimizzazione topologica (Metrology News).....	13
Figura 18: Sintesi degli step dell'ottimizzazione topologica (SmartCAE).....	14
Figura 19: Schematizzazione del processo di stampa 3D con tecnologia FDM (R. Scopigno, 2015).....	16
Figura 20: Schematizzazione del processo di stampa 3D con tecnologia SLA (R. Scopigno, 2015).....	16
Figura 21: Schematizzazione del processo di stampa 3D con tecnologia SLS (R. Scopigno, 2015).....	17
Figura 22: Esempio di set up sperimentale del sistema DIC (DantecDynamics).....	20
Figura 23: Loading station	21
Figura 24: Protesi.....	21
Figura 25:Schematizzazione trigonometriche delle forze agenti sulla loading station (Pazi, 2016/17).....	24
Figura 26: Dantec Dynamics: Dorsiflexion deformazione asse X.....	26
Figura 27: GOM: Dorsiflexion deformazione asse X	26

Figura 28: Sony alpha: Dorsiflexion deformazione asse X	26
Figura 29: Dantec Dynamics: Dorsiflexion deformazione asse Y	27
Figura 30: GOM: Dorsiflexion deformazione asse Y.....	27
Figura 31: Sony alpha: Dorsiflexion deformazione asse Y	27
Figura 32: Dantec Dynamics: Plantarflexion deformazione asse X.....	28
Figura 33: GOM: Plantarflexion deformazione asse X	28
Figura 34: Sony alpha: Plantarflexion deformazione asse X	28
Figura 35: Dantec Dynamics: Plantarflexion deformazione asse Y	29
Figura 36: GOM: Plantarflexion deformazione asse Y	29
Figura 37: Sony alpha: Plantarflexion deformazione asse Y	29
Figura 38: Dorsiflexion deformazione asse X dell'attacco con baseplate stampato ad iniezione	33
Figura 39: Dorsiflexion deformazione asse X dell'attacco con baseplate stampato con la stampante 3D	33
Figura 40: Dorsiflexion deformazione asse Y dell'attacco con baseplate stampato ad iniezione	34
Figura 41: Dorsiflexion deformazione asse Y dell'attacco con baseplate stampato con la stampante 3D	34
Figura 42: Plantarflexion deformazione asse X dell'attacco con baseplate stampato ad iniezione	35
Figura 43: Plantarflexion deformazione asse X dell'attacco con baseplate stampato con la stampante 3D	35
Figura 44: Plantarflexion deformazione asse Y dell'attacco con baseplate stampato ad iniezione	36
Figura 45: Plantarflexion deformazione asse Y dell'attacco con baseplate stampato con la stampante 3D	36
Figura 46: Attacco modello "Falcor" dell'azienda "Union Binding Company" (Union Binding Company)	37
Figura 47: Scarpone modello "Lashed" dell'azienda "thirtytwo" (Zumiez).....	38
Figura 48: Set up sperimentale con sistema DIC "Dantec Dynamics Q-400 3D" e due lampade LED.....	39
Figura 49: Dettaglio del pattern stocastico applicato sul baseplate.....	39
Figura 50: Grafico flex attacco "Falcor".....	40
Figura 51: Dorsiflexion asse X.....	41
Figura 52: Dorsiflexion asse Y.....	42
Figura 53: Plantarflexion asse X	43
Figura 54: Plantarflexion asse Y.....	44

Figura 55: Analisi FEM dorsiflexion deformazione asse X con software "Inventor Professional 2019"	45
Figura 56: Analisi FEM Plantarflexion deformazione asse X con software "Inventor Professional 2019"	46
Figura 57: Analisi FEM dorsiflexion deformazione asse X con software "Fusion 360"	47
Figura 58: Analisi FEM plantarflexion deformazione asse X con software "Fusion 360"	47
Figura 59: Spazio di progettazione	48
Figura 60: Interfaccia A.....	48
Figura 61: Interfaccia B.....	48
Figura 62: Interfaccia C.....	48
Figura 63: Spazio di progettazione con forze e zone escluse.....	50
Figura 64: Output dell'ottimizzatore per il caso di carico dorsiflexion	51
Figura 65: Output della fase di ottimizzazione topologica.....	52
Figura 66: Modelli ottimizzati sovrapposti.....	53
Figura 67: Parte strutturale del baseplate modellato con "Fusion 360"	54
Figura 68: Vista prospettica dell'intero baseplate	55
Figura 69: Dettaglio dell'integrazione dell'interfaccia con heelcup e anklestrap.....	55
Figura 70: Dettaglio dell'interfaccia toestrap.....	56
Figura 71: Vista prospettica dell'intero baseplate da sotto	56
Figura 72: Vista da sopra	57
Figura 73: Foto del prototipo stampato con pattern stocastico applicato	58
Figura 74: Spostamento plantarflexion dell'attacco ottimizzato.....	60
Figura 75: Spostamento plantarflexion dell'attacco "Falcor"	60
Figura 76: Spostamento dorsiflexion dell'attacco ottimizzato	62
Figura 77: Spostamento dorsiflexion dell'attacco "Falcor".....	62
Figura 78: Tensioni "von Mises" nella plantarflexion dell'attacco ottimizzato	65
Figura 79: Tensioni "von Mises" nella plantarflexion dell'attacco "Falcor".....	65
Figura 80: Tensioni "von Mises" nella dorsiflexion dell'attacco ottimizzato	67
Figura 81: Tensioni "von Mises" nella dorsiflexion dell'attacco "Falcor"	67
Figura 82: Peso del baseplate "Falcor".....	69
Figura 83: Peso del prototipo.....	69
Figura 84: Confronto del flex dei due baseplate	70
Figura 85: Spostamento verticale del baseplate "Falcor" nella dorsiflexion	71
Figura 86: Spostamento verticale del prototipo nella dorsiflexion	71
Figura 87: Spostamento verticale del baseplate "Falcor" nella plantarflexion.....	71
Figura 88: Spostamento verticale del prototipo nella plantarflexion.....	71

Figura 89: Deformazione orizzontale, analizzata con la tecnologia DIC, del baseplate "Falcor" nella plantarflexion	72
Figura 90: Deformazione orizzontale, analizzata con la tecnologia DIC, del prototipo nella plantarflexion	72
Figura 91: Deformazione orizzontale, analizzata con il metodo FEM, del baseplate "Falcor" nella plantarflexion	72
Figura 92: Deformazione orizzontale, analizzata con il metodo FEM, del prototipo nella plantarflexion	72
Figura 93: Deformazione orizzontale, analizzata con la tecnologia DIC, del baseplate "Falcor" nella dorsiflexion	73
Figura 94: Deformazione orizzontale, analizzata con la tecnologia DIC, del prototipo nella dorsiflexion.....	73
Figura 95: Deformazione orizzontale, analizzata con il metodo FEM, del baseplate "Falcor" nella dorsiflexion	73
Figura 96: Deformazione orizzontale, analizzata con il metodo FEM, del prototipo nella dorsiflexion.....	73

Elenco delle tabelle

Tabella 1: Proprietà meccaniche della matrice e del materiale stampato con la stampante 3D (Sargom) (Uciesse) (Resinex).....	8
Tabella 2: Proprietà meccaniche delle fibre utilizzate per la produzione di attacchi (W. D. Callister, 2014).....	8
Tabella 3: Confronto dei sistemi a tecnologia DIC	31
Tabella 4: Confronto delle proprietà meccaniche tra il materiale dell'attacco "Falcor" stampato ad iniezione e il materiale del prototipo stampato in 3D.....	57
Tabella 5: Confronto della rigidità dei quattro punti di interfaccia nella plantarflexion.....	61
Tabella 6: Confronto della rigidità dei quattro punti di interfaccia nella dorsiflexion	63

Bibliografia

- 3d-produktionsdrucker.* (s.d.). Tratto da <https://www.3d-produktionsdrucker.de/jet-fusion/funktionsweise-der-jet-fusion-druckprozess-im-detail/>
- 3DRAP.* (s.d.). Tratto il giorno Agosto 5, 2019 da <https://www.3drap.it/ottimizzazione-topologica/>
- Agostinis, M. D. (2017/18). *LABORATORIO DI CALCOLO FEM.* Bologna: Unibo, DIN - Dipartimentodi Ingegneria Industriale .
- Airoldi, S. (2013/2014). *IMPIEGO DI TECNICHE DI OTTIMIZZAZIONE TOPOLOGICA NEL PROCESSO DI DESIGN.* Politecnico di Milano .
- Beobachter.* (2019). Tratto il giorno Settembre 4, 2019 da <https://www.beobachter.ch/konsum/snowboard-vor-und-nachteile-des-step-boot-0>
- DantecDynamics.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 3, 2019 da <https://www.dantecdynamics.com/q-400-dic>
- Donek.* (2019). Tratto il giorno Agosto 1, 2019 da <https://www.donek.com/product/deeluxe-track-325-all-black/>
- Evo.* (s.d.). Tratto il giorno Agosto 1, 2019 da <https://www.evo.com/outlet/snowboards/capita-defenders-of-awesome-snowboard-2018>
- finiten, K. E. (s.d.). *Universität Innsbruck.* Tratto il giorno Settembre 3, 2019 da <https://www.uibk.ac.at/bft/lehre/einfuehrung-in-die-methode-der-finiten-elemente.pdf>
- Flow Bindings.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 4, 2019 da <https://www.flow-bindings.com/flow-bindings-co/gear/bindings/fuse-gt.html?lang=en>
- Fun sport vision.* (2019). Tratto il giorno Agosto 1, 2019 da <https://fun-sport-vision.com/f2-race-titanium-bindung-2017-red-00300117.html>
- GOM.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 3, 2019 da <https://support.gom.com/download/attachments/24185765/dic-strain-computation-basics-1118-004-DE.pdf?version=1&modificationDate=1479310964000>
- Innova fvg Materiali innovativi nella stampa 3D.* (s.d.). Tratto da http://www.innovafvg.it/fileadmin/user_innovafvg/progetti/stampa_3D.pdf

- Medium.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 3, 2019 da <https://medium.com/@vronami/the-development-of-snowboarding-71f87becd818>
- Metrology News.* (s.d.). Tratto il giorno Agosto 9, 2019 da <https://metrology.news/topology-optimization-dmp-meet-aircraft-challenge/>
- Michigan Snowboard Museum.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 3, 2019 da <http://www.michigansnowboardmuseum.com/burton---1980s-accessories.html>
- Pazi, N. (2016/17). *ANALISI DIC E STAMPA 3D DI MATERIALI POLIMERICI PER UN INNOVATIVO.* UniBo, Bologna.
- R. Scopigno, P. C. (2015). *Digital Fabrication Techniques for Cultural Heritage: A Survey.* Tratto il giorno Settembre 5, 2019 da <http://vcg.isti.cnr.it/Publications/2017/SCPCD17/DigitalFabricationForCH.pdf>
- Realsnow - Attacchi snowboard.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 4, 2019 da <http://www.realsnow.it/attacchi-snowboard/>
- Realsnow - Storia snowboard.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 3, 2019 da <http://www.realsnow.it/storia-snowboard/>
- Realsnow - timeline dal 1980 al 1990.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 3, 2019 da <http://www.realsnow.it/storia-snowboard/snowboard-timeline-dal-1980-al-1990/>
- Resinex.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 4, 2019 da <http://catalog.ides.com/Datasheet.aspx?I=26793&E=21770>
- Retrosnow.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 3, 2019 da <https://retrosnow.com/shop/burton/performer-2/>
- Saltypeaks.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 3, 2019 da <https://www.saltypeaks.com/products/32024/Burton-1990-Vintage-Mystery-Air-Snowboard-with-Bindings.html>
- Sargom.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 4, 2019 da <http://www.sargom.it/catalogo/doc/Nylon%20PA6.pdf>
- Selltek.* (s.d.). Tratto da <https://www.selltek.it/stampante-3d-tecnologia-multi-jet-fusion-hp/>
- Sg Snowboards.* (s.d.). Tratto il giorno Agosto 1, 2019 da <https://www.sgsnowboards.com/snowboards-2/full-race-pro-team/?lang=it>
- Skis and Biikes.* (s.d.). Tratto il giorno Agosto 1, 2019 da <https://skiisandbiikes.com/products/burton-imperial-snowboard-boots-2019>

- SmartCAE.* (s.d.). Tratto il giorno Agosto 7, 2019 da <https://blog.smartcae.com/ottimizzazione-topologica-per-generare-forme-innovative-del-prodotto/>
- The House - Burton history.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 3, 2019 da <https://www.the-house.com/portal/burton-history/>
- The House - Union.* (s.d.). Tratto il giorno Agosto 1, 2019 da <https://www.the-house.com/un1for04mst19zz-union-snowboard-bindings.html>
- Uciesse.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 4, 2019 da https://www.uciesse.it/site/uploads/file/Scheda_tecnica_NYLON_6_6.pdf
- Union Binding Company.* (s.d.). Tratto il giorno Agosto 12, 2019 da <https://www.unionbindingcompany.com/snowboard-bindings/mens/union-falcor-bindings-2019#White>
- Vintagewinter.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 3, 2019 da <https://www.vintagewinter.com/products/brunswick-snurfer-snowboard-1>
- W. D. Callister, J. D. (2014). *Materials Science and Engineering: An Introduction, Ninth edition.* Wiley.
- Wikipedia - Produzione additiva.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 5, 2019 da https://it.wikipedia.org/wiki/Produzione_additiva
- Wikipedia - Snowboard.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 3, 2019 da <https://it.wikipedia.org/wiki/Snowboard>
- Wikipedia - Snurfer.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 3, 2019 da <https://it.wikipedia.org/wiki/Snurfer>
- Wikipedia - Stampa 3D.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 5, 2019 da https://it.wikipedia.org/wiki/Stampa_3D
- Zare.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 5, 2019 da <https://www.zare.it/stereolitografia>
- Zero g Chamoinx.* (s.d.). Tratto il giorno Settembre 4, 2019 da <https://www.zerogchamonix.com/gb/men-s-bindings/111295373-burton-step-on-binding-mens-bindings-172831-3-31419.html>
- Zumiez.* (s.d.). Tratto il giorno Agosto 12, 2019 da <https://www.zumiez.com/thirtytwo-lashed-black-and-white-2011-snowboard-boots.html>

Allegato

1 Dati tecnici materiale Akulon K224 – PG6

Property Data

Akulon®

Akulon® K224-PG6

PA6-I-GF30

30% Glass Reinforced, Impact Modified

Print Date: 2019-03-15

Properties	Typical Data	Unit	Test Method
Rheological properties dry / cond			
Molding shrinkage (parallel)	0.39 / *	%	ISO 294-4
Molding shrinkage (normal)	1 / *	%	ISO 294-4
Mechanical properties dry / cond			
Tensile modulus	8500 / 5500	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	145 / 100	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	4.5 / 9	%	ISO 527-1/-2
Charpy impact strength (+23°C)	95 / 110	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength (-30°C)	100 / 100	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C)	23 / 43	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength (-30°C)	15 / 15	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal properties dry / cond			
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	200 / *	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load (0.45 MPa)	215 / *	°C	ISO 75-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion (parallel)	0.2 / *	E-4/°C	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion (normal)	0.9 / *	E-4/°C	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at 1.5 mm nom. thickn.	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	1.6 / *	mm	IEC 60695-11-10
Electrical properties dry / cond			
Relative permittivity (100Hz)	3.8 / 14	-	IEC 60250
Relative permittivity (1 MHz)	3.5 / 4.5	-	IEC 60250

Akulon®, Arnite®, Arnitel®, EcoPaXX®, ForTii®, Novamid®, Stanyl® and Xytron™ are trademarks of DSM.
 All information supplied by or on behalf of DSM in relation to its products, whether in the nature of data, recommendations or otherwise, is supported by research and, in good faith, believed reliable, but DSM assumes no liability and makes no warranties of any kind, express or implied, including, but not limited to, those of title, merchantability, fitness for a particular purpose or non-infringement or any warranty arising from a course of dealing, usage, or trade practice whatsoever in respect of application, processing or use made of the aforementioned information, or product. The user assumes all responsibility for the use of all information provided and shall verify quality and other properties or any consequences from the use of all such information.
 Typical values are indicative only and are not to be construed as being binding specifications. This document replaces all previous versions relating to this subject.
 Copyright © DSM 2018. All rights reserved. No part of the information may be reproduced, distributed, or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording, or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of DSM.



Property Data

Akulon® K224-PG6

Print Date: 2019-03-15

Properties	Typical Data	Unit	Test Method
Dissipation factor (100 Hz)	90 / 3000	E-4	IEC 60250
Dissipation factor (1 MHz)	150 / 1200	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	1E13 / 1E11	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	* / 1E14	Ohm	IEC 60093
Electric strength	25 / 20	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	* / 600	V	IEC 60112
Other properties			
	dry / cond		
Water absorption	5.7 / *	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	1.7 / *	%	Sim. to ISO 62
Density	1320 / -	kg/m ³	ISO 1183

Akulon®, Arnite®, Arnitel®, EcoPaXX®, ForTii®, Novamid®, Stanyl® and Xytron™ are trademarks of DSM.
 All information supplied by or on behalf of DSM in relation to its products, whether in the nature of data, recommendations or otherwise, is supported by research and, in good faith, believed reliable, but DSM assumes no liability and makes no warranties of any kind, express or implied, including, but not limited to, those of title, merchantability, fitness for a particular purpose or non-infringement or any warranty arising from a course of dealing, usage, or trade practice whatsoever in respect of application, processing or use made of the aforementioned information, or product. The user assumes all responsibility for the use of all information provided and shall verify quality and other properties or any consequences from the use of all such information.
 Typical values are indicative only and are not to be construed as being binding specifications. This document replaces all previous versions relating to this subject.
 Copyright © DSM 2018. All rights reserved. No part of the information may be reproduced, distributed, or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording, or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of DSM.

HEALTH · NUTRITION · MATERIALS



2 Dati tecnici HP 3D High Reusability PA 12

HP 3D High Reusability PA 12

Engineering-grade thermoplastics, optimized for 3D printing efficiency



Picture taken after graphite post-processing

Fine detail and high dimensional accuracy

Get precise small features and detail such as small fine holes, walls and shafts with dimensional accuracy thanks to HP's unique Multi-Agent printing process



Picture taken after dye post-processing

Produce strong quality parts

Robust thermoplastic that optimizes part quality with cost, producing strong structures



Picture taken after dye post-processing

Produce complex parts and lattice structures

Ideal for complex assemblies, housings, enclosures and connectors

Reduce Total Cost of Ownership and produce quality parts with HP 3D High Reusability PA12, a strong, multi-purpose thermoplastic that enables industry-leading surplus powder reusability.¹

Lowest Cost-Per-Part²

- Optimize cost and part quality,² with a cost-efficient material that offers industry-leading reusability.¹
- No need to throw away reused powder anymore.³
- Produce quality parts batch-after-batch reusing surplus powder time after time.¹
- Achieve minimal powder wastage between production cycles.
- No need to track powder history. Stable performance with only 20% refresh rate.¹

Optimized for HP Multi Jet Fusion: the best balance between strength and reusability

- A strong thermoplastic for functional prototyping and final parts.
- Optimized for HP's Multi Jet Fusion platform to increase printer safety and deliver truly functional parts.
- Produce high-density parts, with balanced property profiles.
- Excellent chemical resistance to oils, greases, aliphatic hydrocarbons and alkalies.
- Optimal for post finishing processes.

For more information, please visit hp.com/go/3DMaterials

Technical specifications

Category	Measurement	Value	Method
General Properties	Powder melting point (DSC)	187 °C/369 °F	ASTM D3418
	Particle size	60 µm	ASTM 03451
	Bulk density of powder	0.425 g/cm ³	ASTM D1895
	Density of parts	1.01 g/cm ³	ASTM D792
Mechanical Properties	Tensile Strength, Max Load ⁴ - XY	48 MPa/6960 psi	ASTM D638
	Tensile Strength, Max Load ⁴ - Z	48 MPa/6960 psi	ASTM D638
	Tensile Modulus ⁴ - XY	1700 MPa/245 ksi	ASTM D638
	Tensile Modulus ⁴ - Z	1800 MPa/260 ksi	ASTM D638
	Elongation at Break ⁴ - XY	20%	ASTM D638
	Elongation at Break ⁴ - Z	15%	ASTM D638
Thermal Properties	Heat Deflection Temperature (@ 0.45 MPa) - Z	175 °C/350 °F	ASTM D648
	Heat Deflection Temperature (@ 1.82 MPa) - Z	95 °C/205 °F	ASTM D648

Ordering Information

Product name	HP 3D High Reusability PA 12
Product Number	V1R10A
Weight	13 kg
Compatibility	HP Jet Fusion 3D 4200/3200 Printing Solution
Dimensions	Box: 600 x 333 x 301.8 mm

Eco Highlights

- Powders and agents are not classified as hazardous⁵
- Enclosed printing system and automated powder management, including post-processing, for a cleaner and more comfortable environment⁶
- Minimum waste thanks to high reusability of powder¹

Find out more about HP sustainable solutions at hp.com/ecosolutions

1. HP MJF Solution with HP High Reusability PA 12 has the highest post-production surplus powder reusability with 80% reusability vs any other powder based 3DP technology using PA 12 material. Stable performance with only 20% powder refresh rate.
2. Based on internal testing and public data, HP Jet Fusion 3D printing solution average printing cost-per-part is half the cost of comparable FDM & SLS printer solutions from \$100,000 USD to \$300,000 USD, when averaged together and not taken individually, on market as of April 2016. Cost analysis based on standard solution configuration price, supplies price, and maintenance costs recommended by manufacturer. Cost criteria: printing 1 build chamber per day/ 5 days per week over 1 year of 30-gram parts at 10% packing density using the powder reusability ratio recommended by manufacturer.
3. Per packing densities >20%
4. Test results realized under the ASTM D638, specimens type V.
5. The HP powder and agents do not meet the criteria for classification as hazardous according to Regulation (EC) 1272/2008 as amended.
6. The term "cleaner" does not refer to any indoor air quality requirements and/or consider related air quality regulations or testing that may be applicable.

Learn more at hp.com/go/3DMaterials

© Copyright 2016 HP Development Company, L.P. The information contained herein is subject to change without notice. The only warranties for HP products and services are set forth in the express warranty statements accompanying such products and services. Nothing herein should be construed as constituting an additional warranty. HP shall not be liable for technical or editorial errors or omissions contained herein.

4AA6-4895ENA, February 2017

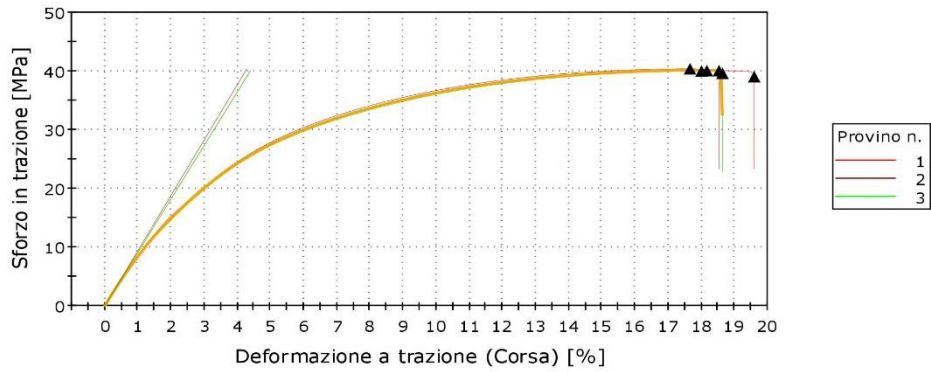
This is an HP Indigo digital print.



3 Risultati prove meccaniche HP 3D High Reusability PA 12

Trazione senza estensometro

Martino_3D Grigi



	Modulo (Corda 0,05 % - 0,25 %) [MPa]	Carico Massimo [N]	Corsa a Carico Massimo [mm]	Sforzo in trazione a Carico Massimo [MPa]	Deformazione a trazione a Massimo Carico [%]
1	910,73	1718,34	14,52	40,08	18,15
2	941,01	1630,49	14,11	40,37	17,64
3	910,52	1656,18	14,39	40,01	17,98
Media	920,75	1668,34	14,34	40,15	17,92
Deviazione standard	17,55	45,17	0,21	0,19	0,26

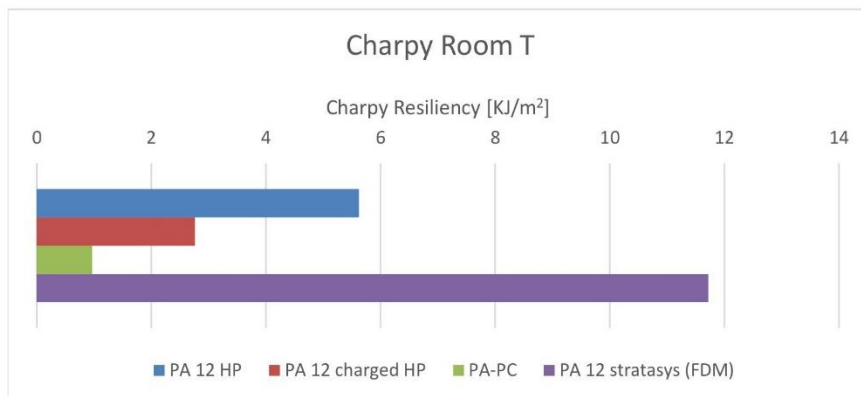
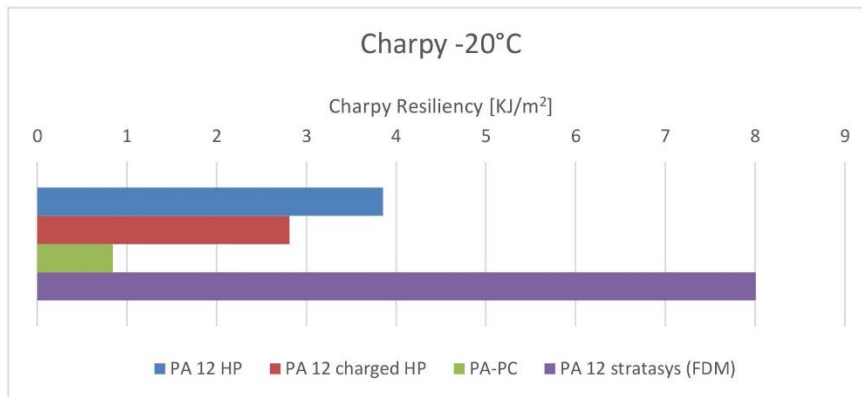
	Sforzo in trazione a Rottura [MPa]	Deformazione a trazione Rottura [%]	Etichetta provino	Larghezza [mm]	Spessore [mm]	Velocità 1 [mm/min]
1	39,05	19,57	Martino 3D grigi	10,16000	4,22000	5,00000
2	40,06	18,51	Martino 3D grigi	9,90000	4,08000	5,00000
3	39,61	18,62	Martino 3D grigi	9,88000	4,19000	5,00000
Media	39,57	18,90		9,98000	4,16333	5,00000
Deviazione standard	0,51	0,58		0,16	0,07	0,00

Nota provino 1	
1	
2	
3	
Media	
Deviazione standard	

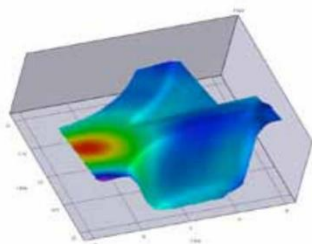
-20°C	PA 12 HP	PA 12 charged HP	PA 12 HP (?)	PA-PC	PA 12 stratasy (FDM)
1	0,12	0,09	0,045	0,025	0,28
2	0,12	0,09	0,04	0,03	0,255
3	0,13	0,09	0,07	0,025	0,24
4		0,09	0,07	0,025	0,25
5		0,09	0,065	0,03	
Average energy adsorbed [J]	0,12333333	0,09	0,058	0,027	0,25625
Charpy Resiliency [KJ/m ²]	3,85417	2,8125	1,8125	0,8438	8,0078125

Room T	PA 12 HP	PA 12 charged HP	PA 12 HP (?)	PA-PC	PA 12 stratasy (FDM)
1	0,18	0,085		0,035	0,375
2		0,09		0,03	
3		0,09		0,035	
4				0,03	
5				0,025	
Average energy adsorbed [J]	0,18	0,088333333		0,031	0,375
Charpy Resiliency [KJ/m ²]	5,625	2,760416667		0,9688	11,71875

Method used: ISO 179-1/1eA
 Impact Velocity: 2,9 m/s
 Nominal Energy: 0,5 J

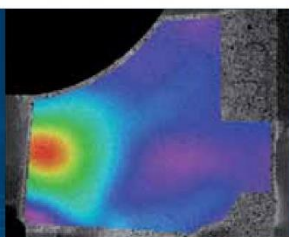


4 Dati tecnici Luchsinger VIC-3D HR:



correlated
SOLUTIONS

VIC-3D™



Correlazione digitale d'immagini

Analisi delle deformazioni 2D e 3D
Analisi degli spostamenti
Analisi delle vibrazioni e fatica
Estensimetro virtuale
Analisi microscopiche



LUCHSINGER.srl
www.luchsinger.it



azienda certificata ISO 9001:2008

tecnologia

Correlazione digitale d'immagini

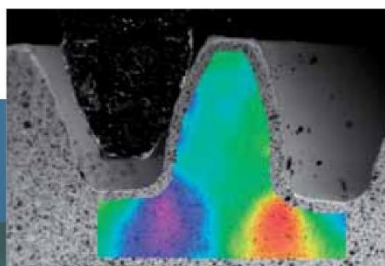
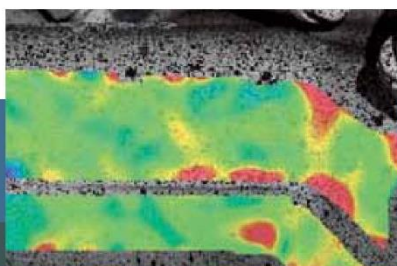
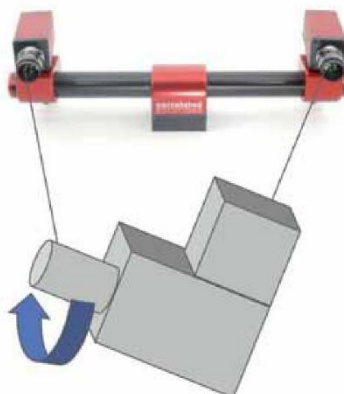
La correlazione digitale d'immagini (Digital Image Correlation = DIC) è un metodo ottico senza contatto per misurare lo spostamento, le deformazioni e vibrazioni in oggetti o materiali soggetti a forze applicate. Il metodo confronta 2 immagini, prima e dopo deformazione o spostamento, acquisite in luce bianca con 1 telecamera (VIC-2D™) o 2 telecamere (VIC-3D™) disposte ad angolo (sistema stereoscopico). La correlazione delle 2 immagini consente di determinare gli spostamenti e quindi le deformazioni nel campo bidimensionale (VIC-2D™) o tridimensionale (VIC-3D™).

VIC-3D™ consente allo sperimentatore di ottenere misure precise e tridimensionali:

- Coordinate superficiali X, Y e Z
- Spostamenti tridimensionali
- Tensore di deformazione (longitudinali, trasversali, principali, taglio)
- Velocità superficiali
- Curvatura superficiale
- Analisi vibrazioni e analisi modale (ampiezza vs. frequenza, modi)

Applicazioni

- Prove di carico statiche e dinamiche
- Superfici curve e piane
- Ambienti ostili: caldo, umido, vuoto
- Materiali: metalli, compositi, polimeri, legno, schiume, vetro, tessuti biologici
- Dimensioni oggetti da 0,8 mm a 50 m
- Deformazioni da 0,005% (50 µε) a 2.000%
- Uso sia indoor che outdoor, non necessita di sorgenti laser
- Validazione di simulazioni numeriche (FEA) per strutture o carichi complessi



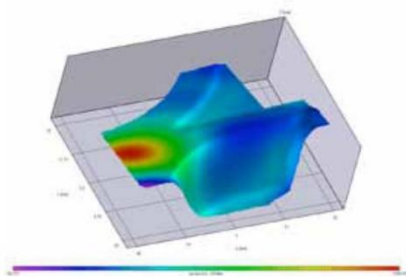
VIC-3D™



Vantaggi

- Misure a tutto campo 2D e 3D
- Identificazione dei punti critici per successiva installazione degli estensimetri
- Non contatto, nessuna interazione meccanica con il campione
- Risultati validi anche senza posizionamento preciso
- Elaborazione in real-time
- Calibrazione automatica sia prima che durante la prova che in post-elaborazione
- Precisione non influenzata dal movimento del corpo rigido 3D
- Generazione di animazioni digitali 3D
- Completa funzionalità Windows (copia-incolla)
- Estrazioni dati Flexport™ per reportistica e importazione diretta in sistemi FEA
- Sistema chiavi in mano, comprende tutto hardware e software necessari





chiavi in mano

Sistema VIC-3D™ chiavi in mano

- Pacchetto Software Vic-3D™ (VicSnap, Vic-2D™, Vic-3D™, Target Generator)
- 2 telecamere digitali CCD con lenti Schneider, interfaccia Firewire
- Barra stereo con regolazione fine del posizionamento supporti telecamere
- Sistema di acquisizione dati e sincronizzazione, interfaccia USB
- Treppiede regolabile con braccio di estensione
- Sorgente di luce fredda con treppiede
- Target di calibrazione
- Computer portatile con sistema operativo Windows 7
- Supporto 1 anno (aggiornamenti software, supporto telefonico/email)



Specifiche	VIC-3D™ SR	VIC-3D™ HR	VIC-3D™ XR	VIC-3D™ HS
Area di misura	mm ² a m ²	mm ² a m ²	mm ² a m ²	mm ² a m ²
Precisione deformazione	50 µε	50 µε	50 µε	50 µε
Campo di misura	0,005% a >2000%	0,005% a >2000%	0,005% a >2000%	0,005% a >2000%
Risoluzione telecamere	2 Megapixel, 14 bit	5 Megapixel, 14 bit	16 Megapixel, 12 bit	1 Megapixel, 12 bit
Frame rate max.	25 fps	15 fps	4 fps	1.000.000 fps
Tempo di esposizione	20 µs a 10 s	20 µs a 10 s	625 µs a 1 s	1 µs a 16 ms
Acquisizione dati	4 canali, 16 bit	8 canali, 16 bit	8 canali 16 bit	8 canali, 14 bit
Calibrazione automatica	Si	Si	Si	Si
Correzione per disturbo telecamera	Si	Si	Si	Si
Multi-system stitching ⁽¹⁾	Si	Si	Si	Si

⁽¹⁾ Assemblaggio dati da più sistemi adiacenti in un unico sistema di coordinate

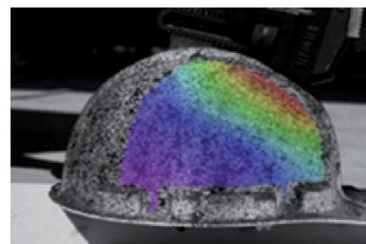
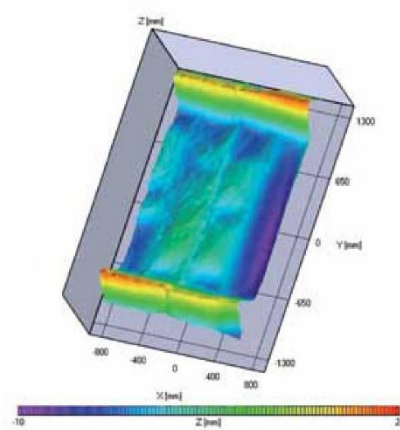
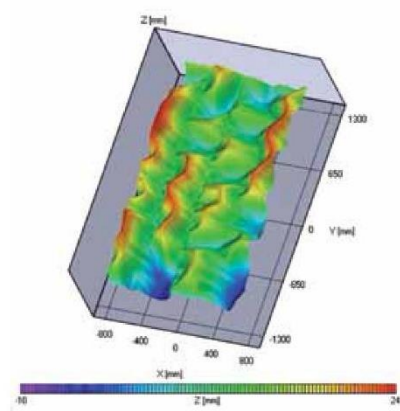
caratteristiche

Caratteristiche generali del software VIC-3D™

- Misura di coordinate 3D, spostamenti 3D, velocità 3D e tensore di deformazione, minimi e massime deformazioni principali
- Precisione fino a 0,005%
- Deformazioni fino a 1000% o più
- Formati immagine: tiff, pgm, bmp, pnm, e altri
- Esportazione dati: tecplot, ASCII, MS Excel
- Funzionalità copia/incolla
- Registrazione di dati analogici esterni
- Visualizzazione grafica di deformazioni su geometrie 3D
- Analisi statistica: minimo, massimo, deviazione standard, media, estrazione temporale, generazione curva deformazione vs sollecitazione
- Generazione di animazioni 3D in formato AVI
- Video player con frame rate variabile, zoom e funzione single step
- Varietà di metodi di selezione delle coordinate
- Integrazione di dati da più sistemi adiacenti
- Calibrazione automatica

Caratteristiche esclusive del software VIC-3D™

- Algoritmi ultra-efficienti consentono velocità di elaborazione fino a 55.000 punti/s con semplice PC commerciale con processore Intel Quad-Core
- Correzione di calibrazione per disturbo telecamere dovuto a vibrazioni, contatto accidentale, vento
- Strumento di esportazione dati FLEXPOR per generare reportistica con tutti i più comuni programmi (MS Office, OpenOffice) ed esportazione dati a simulatori numerici FEA
- Inseguimento (tracking) di marcatori discreti in 3 dimensioni
- Generazione di nuove variabili basate su equazioni applicate ai dati, come calcolo delle sollecitazioni dalle deformazioni, variazione dimensionale di provini sollecitati.



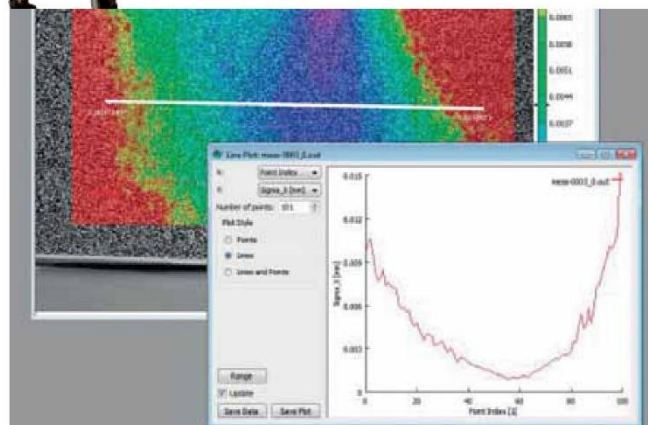
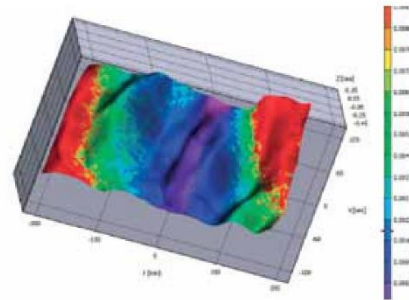
funzionamento

Funzionamento di VIC-3D™

Questa tecnologia utilizza delle telecamere digitali per misurare eventi dinamici e fornire misure precise ad ogni punto visibile dell'oggetto in esame.

Procedure di misura:

- 1) Preparazione della superficie (se necessaria)
- 2) La posizione delle telecamere e rispettive lenti è regolata per adattare l'immagine alle dimensioni dell'oggetto.
- 3) Calibrazione automatica usando delle griglie di riferimento
- 4) Le telecamere digitali registrano l'oggetto durante il movimento o durante la deformazione sotto il carico applicato.
- 5) Il software elabora i dati in real-time per fornire un'analisi completa del movimento e della deformazione superficiale.



estensioni

Pacchetto Fulcrum per vibrazioni/fatica

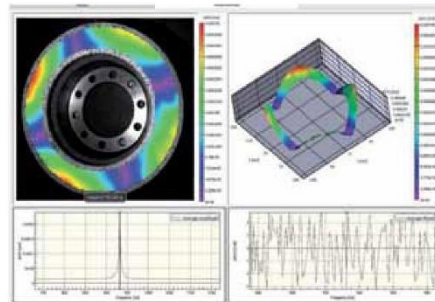
Il pacchetto software per vibrazioni/fatica di Vic-3D™ consente di catturare mediante le telecamere digitali misure di deformazione o spostamento durante eventi periodici. Questo modulo software lavora insieme al modulo software di acquisizione Vic-Snap che consente di triggerare, come uno stroboscopio, precisamente le telecamere in corrispondenza dei picchi, delle valli o fasi del segnale analogico.

Come in VIC-3D, gli spostamenti superficiali sono misurati simultaneamente in 3 assi, inoltre fornisce i vettori velocità e accelerazione e il tensore Lagrangiano in ogni punto nel campo di misura. Ogni applicazione che usa lo stroboscopio, è una candidata per essere misurata con questo sistema: tavole vibranti, banchi motore, macchine in generale.

Ottima alternativa all'uso delle telecamere ultra-veloci, può misurare vibrazioni con grandi ampiezze e frequenze fino a 50 kHz, e senza contatto, quindi senza influenzare la misura.

Pacchetto Modal Analysis VIC-3D™

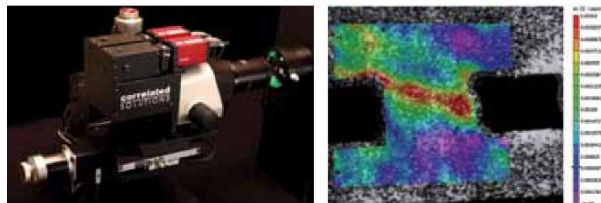
Modal Analysis è un sistema chiavi in mano ad alta velocità che misura gli spostamenti su 3 assi durante eventi di vibrazione. Siccome il tempo di acquisizione è molto breve, il sistema è in grado di misurare i parametri strutturali (mode shapes) in presenza di eventi transienti come anche l'impulso di risposta a un impatto. La risoluzione del sistema è dell'ordine del nanometro.



Analisi modale di uno speaker

Pacchetto VIC-Micro 3D™ per analisi microscopiche

VIC-Micro 3D™ è un sistema basato su stereo microscopio CCD che consente misure precise di spostamenti e deformazioni sotto ingrandimento. Il campo visivo va da 0,8 mm a 7 mm.



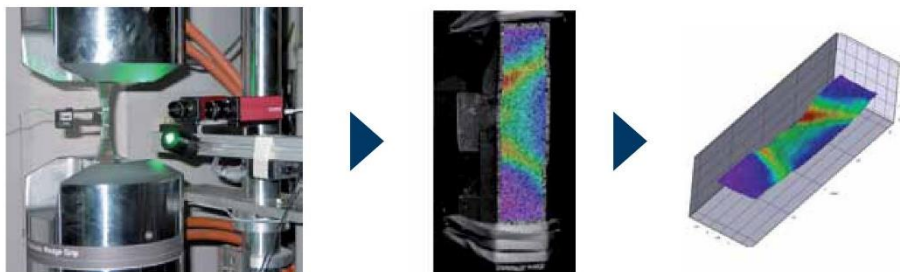
Analisi di una microsaldatura

Pacchetto VIC-Gauge 3D™ per provini di trazione/compressione

VIC-Gauge 3D™ è un sistema chiavi in mano che sostituisce un video-estensometro ed è equivalente a un estensometro virtuale.

Il sistema effettua una correlazione digitale d'immagine 3-D in tempo reale su un paio di immagini, elabora i dati e quindi invia un segnale di controllo in uscita.

La misura è visualizzata graficamente, ma il valore dell'estensometro virtuale è reso disponibile in tempo reale come segnale analogico su BNC di +/- 10 V.



Provino "Dogbone"

Sensori e strumenti di misura

www.luchsinger.it

Analisi sollecitazioni

- estensimetri
- fotoelasticità
- fibre ottiche
- correlazione digitale
- contatti striscianti
- sistemi per prove dinamiche



Forza & Coppia

- celle di carico
- torsionometri
- sensori automotive
- dinamometri

VibroAcustica

- accelerometri
- martelli strumentati
- microfoni
- analizzatori
- sensori wireless



Pressione

- sensori tattili
- trasduttori piezoelettrici
- trasduttori relativi e assoluti
- trasduttori differenziali aria/gas o liquido
- trasduttori per il vuoto
- sensori barometrici
- sensori a thin-film

Spostamento & Distanza

- sensori laser a triangolazione
- LVDT e tastatori
- sensori a filo
- sensori a correnti parassite
- sensori capacitivi
- inclinometri



Dimensioni

- sensori di profilo 2D/3D
- Laser Scanner
- micrometri ottici

Temperatura

- termometri portatili a infrarossi
- sensori a infrarossi
- termocamere a infrarossi
- LineScanner a infrarossi
- video-pirometri



Telemetria

- sensori wireless
- reti wireless
- radio telemetria
- telemetria induttiva

Colore

- sensori di colore con fibre ottiche
- sensori di colore con lente fissa
- sistemi di test per LED



Fibre Ottiche

- estensimetri
- sensori di pressione
- sensori di temperatura

Fluidodinamica

- sistemi laser LDV/PDPA
- sistemi visualizzazione PIV/PLIF
- velocimetro 3D V3V
- anemometri a filo caldo



Aerosol

- contatori di particelle fini
- Monitor PM10 - PM2,5 - PM1
- spettrometri dimensionali
- flussometri

 **LUCHSINGER**_{srl}
sensori e strumenti

24035 CURNO (BG) - Via Bergamo, 25
Tel. 035 462 678 - Fax 035 462 790
info@luchsinger.it - www.luchsinger.it

Ottobre 2014

5 Dati tecnici Dantec Dynamics Q-400 3D:



Advanced full-field Displacement and Strain Analysis Digital 3D Image Correlation System Q-400

Applications

- Component and Material testing (Displacements, Strains, Young's Modulus, Poisson Ratio, Elastic-Plastic Behaviour...)
- FEA validation
- Failure investigation
- Fracture mechanics
- High speed measurements & Vibration analysis (Dynamic applications, transient events)
- All shapes
- Advanced materials (CFRP, wood, fiber injected PE, metal foam, rubber...)

Features

- Real-time correlation
- Multi camera system
- In-field handheld solution
- Extended export and import options
- 3D display of measured values
- Fast and easy automated calibration procedure
- Online feedback of accuracy and quality
- Programmable triggering functions
- Different coordinate systems

User-friendly System

The software offers convenient data handling in a very intuitive way, reliable evaluation and extensive post-processing and analysis capabilities (e.g. determination and visualisation of principal strain).

The unique HiLis light source is a standard part of the system and provides cold and homogeneous illumination for the most accurate measurements. An easy calibration procedure reduces measurement time.

Multi Camera System

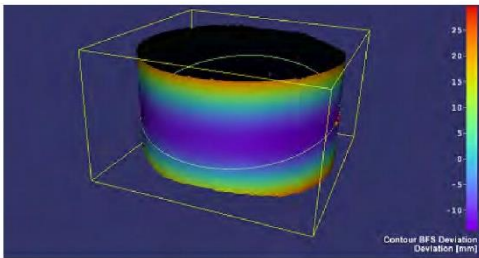
An simple extension of the Q-400 is from a 2 Camera to a 3 Camera system, increasing the field of measurement, improving the results on curved objects and increasing the accuracy. The multi camera system supports any number of cameras.



Sample thinning.

The system uses a cluster approach combining images without stitching and using a single global axis system.

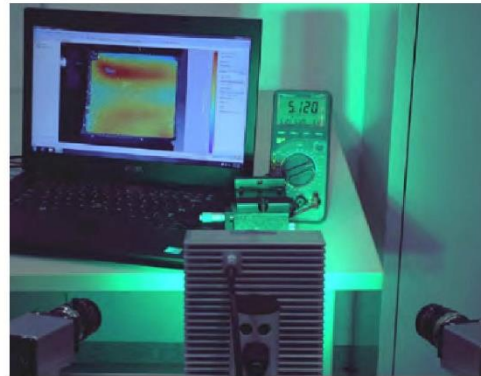
A multi camera system with 8 cameras can cover 360° of a cylinder and 4 cameras can measure both sides of a specimen to accurately determine thinning.



360° Measurement of a cylindrical object.

Real-time Correlation and Analog Output

The Q-400 is capable of evaluating data in real-time and the results can be exported as an analog voltage signal.



Real-Time Correlation.

Handheld DIC for point and shoot measurement

The handheld Q-480 is designed for industrial use on large structures with multiple areas of interest. No calibration or setup is needed. Data from many measurement locations are required on each loading step.

The system is repositioned using a novel hardware and software repositioning solution. The results can be instantly seen using the real-time functionality.



The Q-480 Handheld DIC for 'Point and Shoot' measurements.

Additional information

For additional information please contact your Dantec Dynamics representative.

The specifications in this document are subject to change without notice.

Publication No.: F-Q-400-08-12



6 Dati tecnici GOM ARAMIS SRX 3D:

Technical Data

ARAMIS SRX



	ARAMIS SRX	ARAMIS SRX – 8GB
Camera Sensor	CMOS	CMOS
Camera Resolution	4096 x 3068 Pixel	4096 x 3068 Pixel
Internal RAM	—	8 GB per camera
Frame Rate	75 fps @ full resolution 115 fps @ 2/3 image height 230 fps @ 1/3 image height 480 fps @ 1/6 image height 490 fps @ HD format (1920 x 1000)	335 fps @ full resolution 500 fps @ 2/3 image height 1000 fps @ 1/3 image height 2000 fps @ 1/6 image height 1000 fps @ HD format (1920 x 1000)
Illumination	Light Projector Tracking Spots	Light Projector Tracking Spots
Camera Frame [mm]	180 300 600 1200 1600	180 300 600 1200 1600
Measuring Area [mm]	Frame 180: 70 130 200 300 Frame 300: 170 260 400 550 Frame 600: 600 1200 1300 HD Frame 1200: 1150 2300 2500 HD Frame 1600: 3900 4200 HD	Frame 180: 70 130 200 300 Frame 300: 170 260 400 550 Frame 600: 600 1200 1300 HD Frame 1200: 1150 2300 2500 HD Frame 1600: 3900 4200 HD
Control Device	GOM Testing Controller	GOM Testing Controller
Sensor Size [mm]	Frame 180: approx. 340 x 320 x 260 Frame 300: approx. 475 x 320 x 260 Frame 600: approx. 785 x 290 x 145 Frame 1200: approx. 1360 x 290 x 145 Frame 1600: approx. 1750 x 290 x 145	Frame 180: approx. 340 x 320 x 260 Frame 300: approx. 475 x 320 x 260 Frame 600: approx. 785 x 290 x 145 Frame 1200: approx. 1360 x 290 x 145 Frame 1600: approx. 1750 x 290 x 145
Sensor Weight [kg]	Frame 180: 6.9 (incl. Light Projector) Frame 300: 7.4 (incl. Light Projector) Frame 600: 8.3 (incl. Tracking Spots) Frame 1200: 9.4 (incl. Tracking Spots) Frame 1600: 10.1 (incl. Tracking Spots)	Frame 180: 6.9 (incl. Light Projector) Frame 300: 7.4 (incl. Light Projector) Frame 600: 8.3 (incl. Tracking Spots) Frame 1200: 9.4 (incl. Tracking Spots) Frame 1600: 10.1 (incl. Tracking Spots)
Ambient Conditions	+5 °C to +35 °C (non-condensing)	+5 °C to +35 °C (non-condensing)
Voltage Range (typical)	100–240 V AC, 50–60 Hz	100–240 V AC, 50–60 Hz
Power Consumption	typically 35 W (with Light Projector) typically 55 W (with Tracking Spots) maximum 100 W	typically 35 W (with Light Projector) typically 55 W (with Tracking Spots) maximum 100 W
Cable Length	10 m	10 m
Strain Measuring Range	0.005 % up to > 2000 %	0.005 % up to > 2000 %
Strain Measuring Resolution	up to 0.005 %	up to 0.005 %
Specimen Temperature	typ. -100 °C up to +1500 °C	typ. -100 °C up to +1500 °C

7 Dati tecnici Sony alpha 6300:

Dati tecnici

Fotocamera

[Sistema]

Tipo di fotocamera: Fotocamera digitale con obiettivo intercambiabile
 Obiettivo: Obiettivo Sony a montaggio E

[Sensore dell'immagine]

Sensore dell'immagine: Sensore dell'immagine CMOS formato APS-C (23,5 mm × 15,6 mm)
 Numero effettivo di pixel della fotocamera: Circa 24 200 000 pixel
 Numero complessivo di pixel del sensore dell'immagine: Circa 25 000 000 pixel

[Antipolvere]

Sistema: Rivestimento di protezione dal carico sul filtro ottico e meccanismo di vibrazione ultrasonica

[Sistema di messa a fuoco automatica]

Sistema: Sistema di rilevamento di fase/Sistema di rilevamento del contrasto
 Gamma di sensibilità: Da EV-1 a EV20 (equivalente a ISO 100, con obiettivo F2,0)

[Controllo dell'esposizione]

Metodo di misurazione: 1 200 segmenti misurati dal sensore di immagine
 Campo di misurazione esposimetrica: Da EV-2 a EV20 (equivalente a ISO 100, con obiettivo F2,0)

Sensibilità ISO (Indice di esposizione consigliato):

Fermi immagine: AUTO, ISO 100 – ISO 25 600 (ISO esteso: massimo ISO 51 200)

Filmati: AUTO, equivalente a ISO 100 – ISO 25 600

Compensazione dell'esposizione: ±5,0 EV (commutabile tra i passi da 1/3 e 1/2 EV)

[Otturatore]

Tipo: Controllato elettronicamente, a spostamento trasversale verticale, tipo a piano focale

Gamma dei tempi:

Fermi immagine: Da 1/4 000 di secondo a 30 secondi, BULB

Filmati: Da 1/4 000 di secondo a 1/4 di secondo (intervallo da 1/3 EV)

– Dispositivo compatibile con 1080 60i fino a 1/60 di secondo nel modo AUTO (fino a 1/30 di secondo nel modo otturatore lento automatico)

– Dispositivo compatibile con 1080 50i fino a 1/50 di secondo nel modo AUTO (fino a 1/25 di secondo nel modo otturatore lento automatico)

Tempo di sincronizzazione del flash: 1/160 di secondo

[Supporto di registrazione]

Memory Stick PRO Duo, scheda SD

[Monitor]

Monitor LCD: Ampio, drive TFT da 7,5 cm (tipo 3,0)

Numero totale di punti: 921 600 punti

IT

IT
35

[Mirino elettronico]

Tipo: Mirino elettronico
Numero totale di punti: 2 359 296 punti
Copertura fotogrammi: 100%
Ingrandimento:
Circa 1,07 ×
Circa 0,70 × (equivalente al formato da 35 mm) con obiettivo da 50 mm all'infinito, -1 m^{-1} (diottrico)
Punto dell'occhio (conforme a CIPA):
Circa 23 mm dall'oculare, circa 21,4 mm dalla cornice dell'oculare a -1 m^{-1}
Regolazione diottrica:
Da $-4,0 \text{ m}^{-1}$ a $+3,0 \text{ m}^{-1}$

[Terminali di ingresso/uscita]

Terminale USB multiplo/Micro*:
Hi-Speed USB (USB 2.0)
* Supporta il dispositivo compatibile con micro USB.
HDMI: Micropresa HDMI di tipo D
Terminale  (Microfono):
Minipresa stereo da \varnothing 3,5 mm

[Alimentazione]

Tipo di batteria: Pacco batteria ricaricabile NP-FW50

[Consumo energetico (durante la ripresa)]

Quando si usa un obiettivo E PZ 16 – 50 mm F3.5 – 5.6 OSS*
Circa 2,5 W (durante la ripresa con il mirino)
Circa 2,2 W (durante la ripresa con il monitor)
* in dotazione con ILCE-6300L

[Altro]

Exif Print: Compatibile
PRINT Image Matching III: Compatibile
DPOF: Compatibile
Dimensioni (conformi a CIPA) (circa):
120,0 mm × 66,9 mm × 48,8 mm (L/A/P)
Peso (conforme a CIPA) (circa):
404 g (inclusi batteria e Memory Stick PRO Duo)
361 g (solo fotocamera)
Temperatura di esercizio:
Da 0 °C a 40 °C
Temperatura di conservazione:
Da -20 °C a $+60 \text{ °C}$
Formato file:
Fermo immagine: Conforme a JPEG (DCF Ver. 2.0, Exif Ver. 2.3, MPF Baseline), RAW (formato Sony ARW 2.3)
Filmato (Formato XAVC S):
Conforme al formato MPEG-4 AVC/H.264 XAVC S ver.1.0
Video: MPEG-4 AVC/H.264
Audio: LPCM 2 canali (48 kHz 16 bit)
Filmato (Formato AVCHD):
compatibile con formato AVCHD Ver. 2.0
Video: MPEG-4 AVC/H.264
Audio: Dolby Digital 2 canali
Dolby Digital Stereo Creator
• Prodotto su licenza dei Dolby Laboratories.
Filmato (formato MP4):
Video: MPEG-4 AVC/H.264
Audio: MPEG-4 AAC-LC 2 canali
Comunicazione USB: Hi-Speed USB (USB 2.0)

[Flash]

Numero guida del flash: 6 (in metri a ISO 100)
Tempo di ricarica: Circa 4 secondi
Copertura del flash: Copre un obiettivo da 16 mm (lunghezza focale indicata dall'obiettivo)
Compensazione del flash: $\pm 3,0$ EV (commutabile tra i passi da 1/3 e 1/2 EV)

[LAN wireless]

Formato supportato: IEEE 802.11 b/g/n
Banda di frequenza: 2,4 GHz
Protocolli di sicurezza supportati: WEP/WPA-PSK/WPA2-PSK
Metodo di configurazione: Wi-Fi Protected Setup (WPS)/Manuale
Metodo di accesso: Modo di infrastruttura
NFC: Conforme con NFC Forum Type 3 Tag
Model No. WW906746

Alimentatore CA AC-UUD12/UUE12

Requisiti di alimentazione: Da 100 V a 240 V CA, 50 Hz/60 Hz, 0,2 A
Tensione di uscita: 5 V CC, 1,5 A

Pacco batteria ricaricabile NP-FW50

Tipo di batteria: Batteria a ioni di litio
Tensione massima: 8,4 V CC
Tensione nominale: 7,2 V CC
Tensione massima di carica: 8,4 V CC
Corrente massima di carica: 1,02 A
Capacità: 7,3 Wh (1 020 mAh)

Obiettivo E PZ 16 – 50 mm F3.5 – 5.6 OSS*1 (in dotazione con ILCE-6300L)

Equivalente alla lunghezza focale del formato 35 mm^{*2}: 24 mm – 75 mm
Gruppi/elementi dell'obiettivo: 8 – 9
Angolo di visualizzazione^{*2}: 83° – 32°
Messa a fuoco minima^{*3}: 0,25 m – 0,3 m
Ingrandimento massimo: 0,215×
Apertura minima: f/22 – f/36
Diametro del filtro: 40,5 mm
Dimensioni (diametro massimo × altezza): Circa 64,7 mm × 29,9 mm
Peso: Circa 116 g
SteadyShot: Disponibile

*1 Obiettivo con zoom motorizzato

*2 I valori della lunghezza focale equivalente nel formato 35 mm e dell'angolo di visione sono basati sulle fotocamere digitali dotate di sensore dell'immagine in formato APS-C.

*3 La distanza minima di messa a fuoco è la distanza più breve dal sensore dell'immagine al soggetto.

Il formato e i dati tecnici sono soggetti a modifiche senza preavviso.

IT

Informazioni sulla lunghezza focale

L'angolo della foto di questa fotocamera è più stretto di quello della fotocamera di formato 35 mm. È possibile trovare l'equivalente approssimativo della lunghezza focale di una fotocamera di formato 35 mm e riprendere con lo stesso angolo della foto, aumentando di metà la lunghezza focale dell'obiettivo.

Per esempio, usando un obiettivo da 50 mm, è possibile ottenere l'equivalente approssimativo di un obiettivo da 75 mm di una fotocamera di formato 35 mm.

Marchi di fabbrica

- Memory Stick e  sono marchi di fabbrica o marchi di fabbrica registrati di Sony Corporation.
- XAVC S e  sono marchi registrati di Sony Corporation.
- “AVCHD Progressive” e il logo “AVCHD Progressive” sono marchi di fabbrica della Panasonic Corporation e Sony Corporation.
- Dolby e il simbolo della doppia D sono marchi di fabbrica di Dolby Laboratories.
- I termini HDMI e HDMI High-Definition Multimedia Interface e il logo di HDMI sono marchi di fabbrica o marchi di fabbrica registrati di HDMI Licensing LLC negli Stati Uniti e in altre nazioni.
- Windows è un marchio di fabbrica registrato della Microsoft Corporation negli Stati Uniti e/o in altre nazioni.
- Mac è un marchio di fabbrica registrato della Apple Inc. negli Stati Uniti e in altre nazioni.
- iPhone e iPad sono marchi di fabbrica registrati della Apple Inc. negli Stati Uniti e in altre nazioni.
- Il logo SDXC è un marchio di fabbrica di SD-3C, LLC.
- Android e Google Play sono marchi di fabbrica di Google Inc.
- Wi-Fi, il logo Wi-Fi, Wi-Fi Protected Setup sono marchi registrati o marchi di Wi-Fi Alliance.
- Il contrassegno N è un marchio di fabbrica o marchio di fabbrica registrato di NFC Forum, Inc. negli Stati Uniti e in altre nazioni.
- DLNA e DLNA CERTIFIED sono marchi di fabbrica della Digital Living Network Alliance.

- Facebook e il logo “f” sono marchi di fabbrica o marchi di fabbrica registrati di Facebook, Inc.
- YouTube e il logo YouTube sono marchi di fabbrica o marchi di fabbrica registrati di Google Inc.
- Eye-Fi è un marchio di fabbrica di Eye-Fi, Inc.
- Inoltre i nomi del sistema e dei prodotti usati in questo manuale sono generalmente marchi di fabbrica o marchi di fabbrica registrati dei loro rispettivi sviluppatori o produttori. Tuttavia, i contrassegni TM o [®] potrebbero non essere usati in tutti i casi in questo manuale.



Informazioni sul software GNU GPL/LGPL

Il prodotto include software soggetto alla seguente GNU General Public License (qui di seguito “GPL”) o GNU Lesser General Public License (qui di seguito “LGPL”). Con la presente si informa l’utente che ha diritto di accedere, modificare e ridistribuire il codice sorgente di tali programmi software alle condizioni della GPL/LGPL fornita. Il codice sorgente è disponibile sul Web. Usare il seguente URL per scaricarlo.

<http://oss.sony.net/Products/Linux/>
Preferiremmo non essere contattati in merito ai contenuti del codice sorgente.

Le licenze (in inglese) sono registrate nella memoria interna del prodotto.

Stabilire una connessione all’archiviazione di massa tra il prodotto e un computer per leggere le licenze nella cartella “PMHOME” - “LICENSE”.

Ulteriori informazioni su questo prodotto e le risposte alle domande più frequenti sono reperibili sul nostro sito web di Assistenza Clienti.

<http://www.sony.net/>



IT

8 Dati tecnici ottica Schneider Kreuznach Xenoplan 1.4/17:

Xenoplan 1.4/17

Compact 17 mm focal length C-Mount lens for megapixel 2/3" sensors with the 400 nm - 1000 nm broadband AR-coating. Useable from VIS to NIR and featured low chromatic apparition, this lens is ideal for challenging mapping solutions. The high imaging performance over the entire field, makes this lens suitable automated inspection systems when a large field of view and near working distance is needed. As ruggedized version with special locking of the mechanics to compensate industrial environment, such as machine vibration or for instants, is offered.

Another option is the High-end 3D version characterized by extra secured optics to assure that the set optical parameters remain in place, needed when the lens get mounted on a robot. And a motorized p-iris version for use in automated inspection systems is available as well. More available focal length are 4.8 mm, 6 mm, 8 mm, 12 mm, 23 mm and 35 mm.

Xenoplan 1.4/17

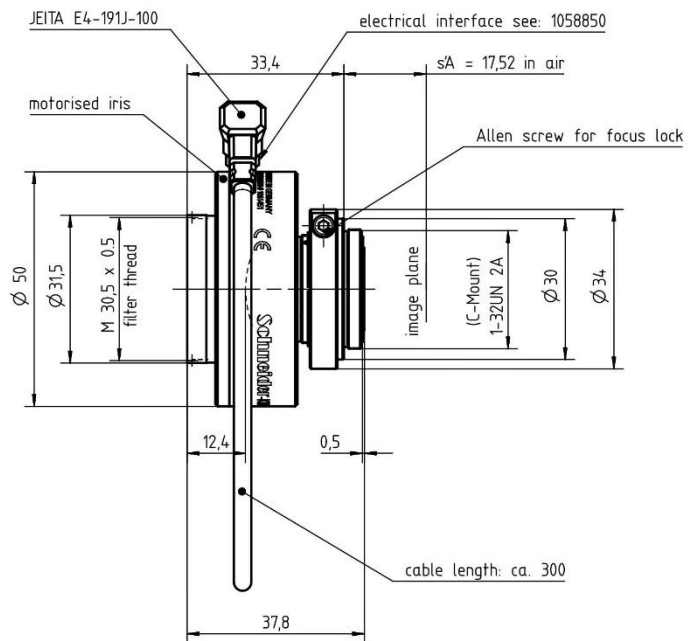
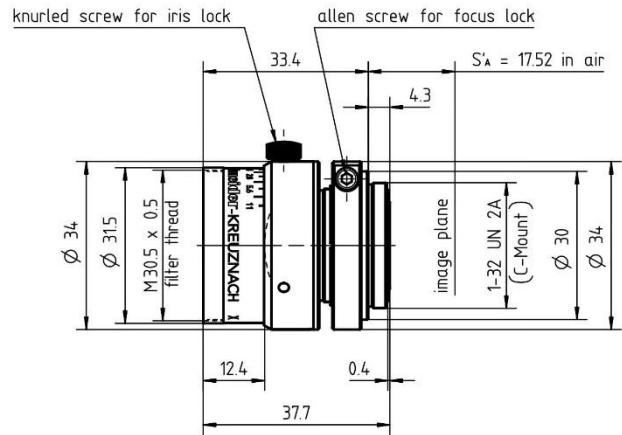
Key features	Applications
--------------	--------------

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> For 2/3" sensors up to 5 megapixel 400 nm to 1000 nm Broadband AR coating Ruggedized version available High-end 3D version available Motorized p-iris available | <ul style="list-style-type: none"> Automated Inspection Quality control Robot vision Food and Beverage check Mapping |
|---|---|

Name	Xenoplan 1.4/17
Type	-0903 -0913 -1903 -0909
Focal Length [mm]	17
Magnification	-0.1
Image circle [mm]	11
Resolution [μm]	3.65
F/# range	1.4 ... 11
NA	0.36
Interface	C-Mount
Working distance [mm]	∞ - 160
AoV [°]	34
Focus control	manual
Transmission [nm]	400 - 1000
Filter thread [mm]	M30.5 x 0.5
Dimensions L x D [mm]	37.8 x 34.0

Name	Xenoplan 1.4/17
Weight [g]	85
Storage temp. [°C]	-25 ... +70
f'_{eff} [mm]	17.57
S'_F [mm]	6.15
$S'_{F'}$ [mm]	13.16
HH' [mm]	-3.20
β'_P	2.978
S'_{EP} [mm]	12.05
S'_{AP} [mm]	-39.16
Σd [mm]	24.93
ID	1001957
ID Ruggedized	1062860
ID Motorized p-iris	1061451
ID High-end 3D	1070117

Xenoplan 1.4/17

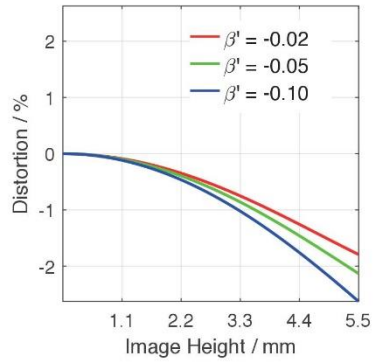


Motorized p-iris

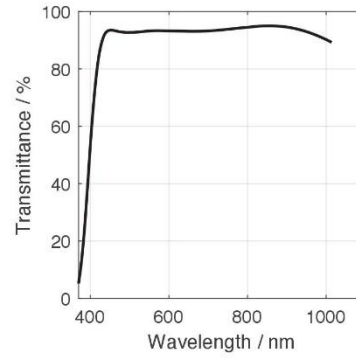
Xenoplan 1.4/17



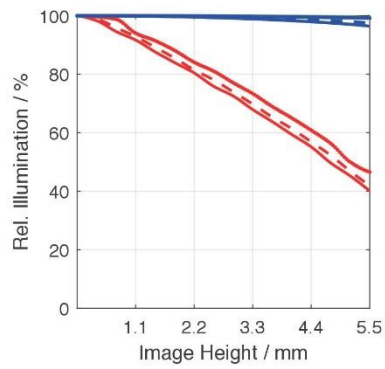
Distortion vs. Image Height



Transmittance vs. Wavelength



Relative Illumination vs. Image Height

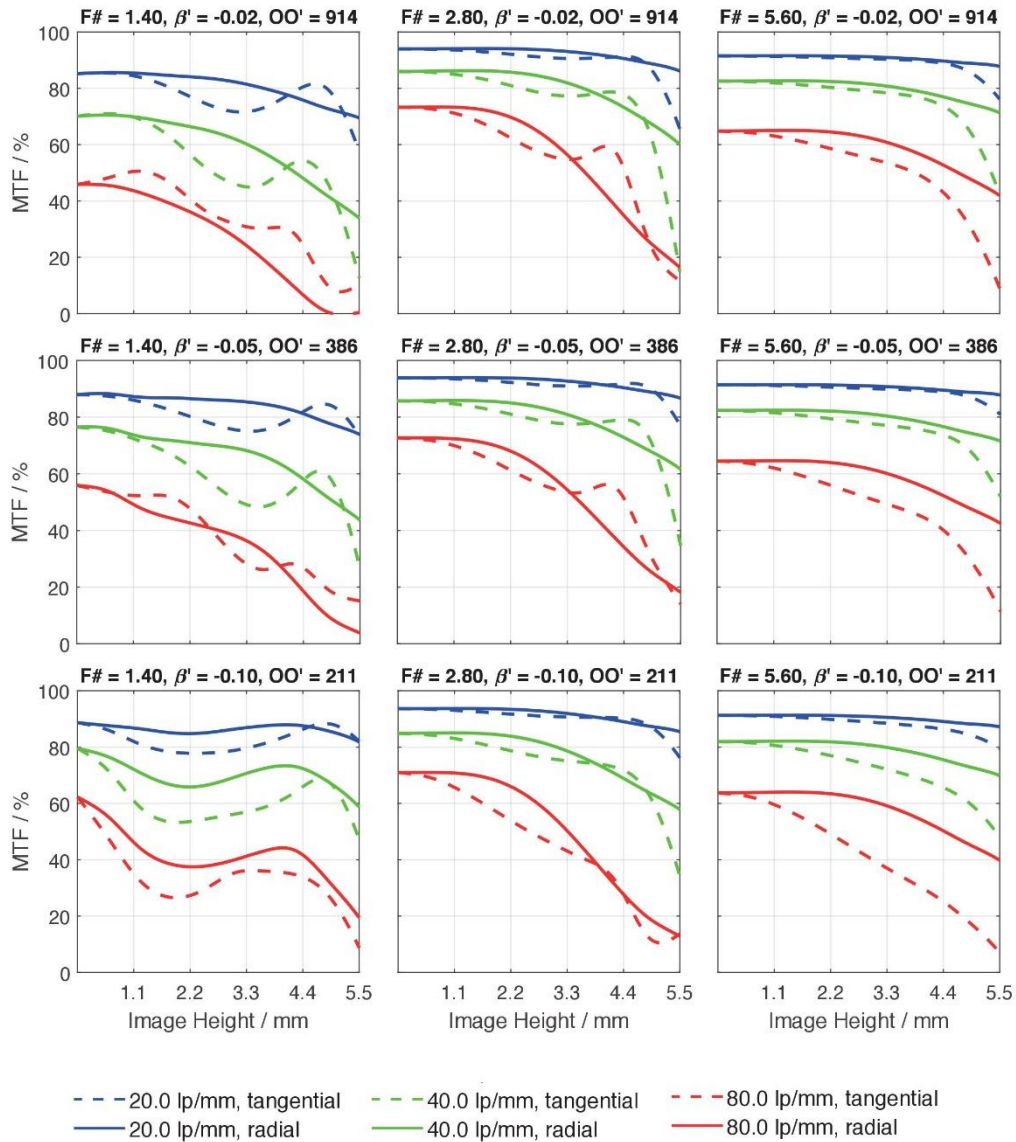


- F# = 1.40, $\beta' = -0.02$
- F# = 2.80, $\beta' = -0.02$
- F# = 5.60, $\beta' = -0.02$
- - F# = 1.40, $\beta' = -0.05$
- - F# = 2.80, $\beta' = -0.05$
- - F# = 5.60, $\beta' = -0.05$
- F# = 1.40, $\beta' = -0.10$
- F# = 2.80, $\beta' = -0.10$
- F# = 5.60, $\beta' = -0.10$

Xenoplan 1.4/17



Spectrum Name	VIS					
Wavelengths [nm]	425	475	525	575	625	675
Weights	8	16	23	22	19	13



Xenoplan 1.4/17



Accessories	Mount	Length	ID
Adapter	CS-Mount Adapter	5 mm	25081
	C-Mount / M42 x 1 Adapter	-	1075817
Ext. Tube	C-Mount	5 mm	39316
	C-Mount	8 mm	39315
	C-Mount	10 mm	39312

Get more information
Contact our local offices



Headquarter Germany

Jos. Schneider Optische Werke GmbH
Ringstraße 132
55543 Bad Kreuznach
☎ +49 671 601 205
✉ cs@schneiderkreuznach.com
www.schneiderkreuznach.com

Offices Worldwide

China

☎ +86 755 8832 1170
✉ shawn.liu@schneider-asiapacific.com

North America

☎ +1 800 645 7239 (East Coast)
☎ +1 800 228 1254 (West Coast)
✉ info@schneideroptics.com

Singapore

☎ +65 9488 0062
✉ thongv@schneiderkreuznach.com