

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA
SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

CON SEDE A CESENA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE
IN INGEGNERIA MECCANICA

Classe LM-33 - INGEGNERIA MECCANICA

Sede di Forlì

ELABORATO FINALE DI LAUREA IN:
PROGETTAZIONE MECCANICA E COSTRUZIONE DI MACCHINE
SVILUPPO DI UN NUOVO PRODOTTO PER IL CORONAMENTO
E LA CHIUSURA DI CANALETTE DI SCOLO

CANDIDATO:

Marco Malucelli

RELATORE:

Prof. Ing. Giangiacomo Minak

CORRELATORI:

Ing. Alessandro Spada

Ing. Carlo Barlocco

Anno Accademico 2014/2015

Sessione II

INDICE

| | |
|--|------------------|
| PREFAZIONE | Pagina 11 |
| INTRODUZIONE | Pagina 15 |
| 1. PROCEDURE AZIENDALI PER L'APPROVAZIONE DI NUOVI PROGETTI | 19 |
| 1.1 Analisi dei dati di <i>input</i> | 20 |
| 1.2 Sviluppo prodotto | 21 |
| 1.3 Osservazione dei dati di <i>output</i> | 21 |
| 2. LA NORMA UNI EN 1433 | 23 |
| 2.1 Definizioni | 23 |
| 2.2 Classificazione | 26 |
| 2.3 Requisiti di progettazione e fabbricazione | 28 |
| 2.4 Prove di resistenza | 29 |
| 2.4.1 Apparecchiature di prova | 30 |
| 2.4.1.2 Macchina di prova | 30 |
| 2.4.1.3 Blocchi di prova | 30 |
| 2.4.2 Preparazione e procedimento della prova | 31 |
| 2.5 Marcatura | 33 |
| 2.6 Valutazione di conformità | 33 |
| 3. I TECNOPOLIMERI | 35 |
| 3.1 Definizione di tecnopolimero | 35 |
| 3.2 Temperatura di transizione vetrosa, o del secondo ordine (Tg) | 37 |
| 3.3 Natura viscoelastica dei materiali termoplastici | 38 |
| 3.4 Dati usuali di caratterizzazione forniti per i materiali plastici | 39 |
| 3.4.1 Caratterizzazione delle proprietà meccaniche | 40 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4.2 Invecchiamento | Pagina 41 |
| 3.4.2.1 Invecchiamento agli agenti atmosferici | 42 |
| 3.4.2.2 Resistenza agli agenti chimici | 42 |
| 3.3.4.3 Stabilità dimensionale | 42 |
| 3.5 Caratteristiche principali e potenziale tecnologico dei tecnopolimeri | 43 |
| 3.6 Valutazione comparativa del potenziale tecnologico dei tecnopolimeri | 44 |
| 3.6.1 Categoria I: Polimeri resistenti alle sollecitazioni meccaniche anche ad elevata temperatura | 46 |
| 3.6.2 Categoria II: Polimeri a basso coefficiente di attrito | 47 |
| 3.6.3 Categoria III: Polimeri ad elevate proprietà di isolamento elettrico | 49 |
| 3.6.4 Categoria IV: Polimeri ad altissima rigidità ed elevata stabilità dimensionale | 49 |
| 3.6.5 Categoria V: Polimeri trasparenti | 49 |
| 3.7 La scelta del materiale | 50 |
| 4. STAMPAGGIO AD INIEZIONE | 53 |
| 4.1 Pressa tradizionale | 53 |
| 4.2 Sistema di chiusura | 56 |
| 4.2.1 Chiusura Idraulica | 57 |
| 4.2.2 Chiusura a Ginocchiera Semplice | 57 |
| 4.2.3 Chiusura a Ginocchiera Doppia | 58 |
| 4.2.4 Confronto Ginocchiera — Pistone | 58 |
| 4.2.5 Misura della forza di chiusura | 61 |
| 4.3 Estrazione | 62 |
| 4.3.1 Estrattore meccanico ed oleodinamico | 62 |
| 4.3.2 Soffiaggio | 63 |
| 4.3.3 Estrazione radiale con martinetti | 63 |
| 4.3.4 Estrazione a svitamento | 63 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4 Gruppo iniezione | Pagina 64 |
| 4.4.1 Gruppo iniezione a vite punzonante | 64 |
| 4.4.2 Ugelli | 65 |
| 4.4.3 Valvola-Ogiva | 66 |
| 4.4.4 Vite di plastificazione | 66 |
| 4.4.5 Degasaggio | 67 |
| 4.4.6 Configurazione del gruppo iniezione | 68 |
| 4.4.7 Alimentazione e trasporto | 68 |
| 4.5 Impianti ausiliari | 69 |
| 4.5.1 Essiccazione delle materie termoplastiche | 69 |
| 4.5.2 Robot industriali | 71 |
| 4.5.3 Nastri trasportatori | 72 |
| | |
| 5. PROGETTAZIONE DELLA GEOMETRIA E ANALISI DEL COMPORTAMENTO STATICO | 75 |
| 5.1 Metodo degli elementi finiti | 75 |
| 5.1.1 Funzionamento | 76 |
| 5.1.2 Fasi per arrivare al modello | 77 |
| 5.1.3 Caratteristiche degli elementi | 78 |
| 5.1.4 Tipologia degli elementi finiti | 79 |
| 5.1.5 Nodi | 81 |
| 5.2 <i>Benchmarking</i> | 82 |
| 5.2.1 Osservazione risultati | 85 |
| 5.3 Simulazione griglia Concorrente 1 | 87 |
| 5.3.1 Osservazione risultati griglia Concorrente 1 | 91 |
| 5.4 Simulazione griglia Concorrente 2 | 93 |
| 5.4.1 Osservazione risultati griglia Concorrente 2 | 94 |
| 5.5 Progetto geometria griglia | 97 |
| 5.5.1 Osservazione risultati progetto | 98 |
| 5.6 Progetto griglia parallelo | 101 |
| 5.6.1 Osservazione risultati progetto parallelo | 102 |

| | |
|--------------------|------------|
| CONCLUSIONI | 107 |
| APPENDICE | 111 |

INDICE DELLE IMMAGINI E DELLE TABELLE

CAPITOLO 2

| | |
|--|-----------|
| Fig. 2.1 - Esempi di unità grata | Pagina 24 |
| Fig. 2.2 - Esempi di griglie | 24 |
| Fig. 2.3 - Esempi di profondità di inserimento | 25 |
| Fig. 2.4 - Esempi di aree libere | 25 |
| Fig. 2.5 - Tipica sezione trasversale autostradale che illustra l'ubicazione di alcuni tipi di posa in opera | 27 |
| Tab. 2.1 - Tolleranze dimensionali | 28 |
| Tab. 2.2 - Dimensioni per le classi da C 250 a F 900 | 29 |
| Fig. 2.6 - Orientamento delle fessure | 29 |
| Tab. 2.3 - Carichi di prova 2 | 29 |
| Tab. 2.4 - Dimensioni dei blocchi di prova | 31 |
| Tab. 2.5 - Serie permanente ammessa di griglia | 32 |

CAPITOLO 3

| | |
|--|----|
| Tab. 3.1 - Tg di alcuni polimeri termoplastici | 37 |
| Fig. 3.1 - Variazione del modulo torsionale G di un materiale plastico amorfo: policloruro di vinile, con e senza plastificante (dibutil ftalato), in funzione della temperatura | 38 |
| Fig. 3.2 - Curve modulo di taglio-temperatura | 40 |
| Fig. 3.3 - Comportamento di un polimero amorfo e cristallino in funzione della temperatura | 44 |
| Fig. 3.4 - Istogrammi delle proprietà dei tecnopolimeri | 45 |
| Tab. 3.2 - Temperatura massima di alcuni polimeri | 46 |
| Fig. 3.5 - Polimeri ad elevate proprietà fisico-meccaniche ad alta temperatura | 47 |

| | |
|--|-----------|
| Tab. 3.3 - Polimeri a basso coefficiente di attrito | Pagina 48 |
| Fig. 3.6 - Polimeri a basso coefficiente di attrito | 48 |
| Fig. 3.7 - Valori delle caratteristiche del materiale fornite nella scheda tecnica | 52 |

CAPITOLO 4

| | |
|--|----|
| Fig. 4.1 - Vista d'assieme di una pressa ad iniezione | 54 |
| Fig. 4.2 - Sistema di chiusura a pistone | 56 |
| Fig 4.3 - Chiusura idraulica con cilindro coassiale | 57 |
| Fig. 4.4 - Chiusura a ginocchiera doppi | 58 |
| Fig. 4.5 - Posizioni relative della piastra mobile e del testa croce | 60 |
| Fig. 4.6 - Estrattore meccanico | 62 |
| Fig. 4.7 - Gruppo iniezione del tipo a vite punzonante | 64 |
| Fig. 4.8 - Tipi di vite di plastificazione | 66 |
| Fig. 4.9 - Vite per impiego universale | 67 |
| Fig. 4.10 - Unità di deumidificazione mobile | 70 |
| Fig. 4.11 - Robot per estrazione manufatti | 71 |
| Fig. 4.12 - Nastro trasportatore | 72 |

CAPITOLO 5

| | |
|---|----|
| Fig. 5.1 - Particolare degli appoggi sulle griglia Concorrente 2 | 83 |
| Fig. 5.2 - Simulazione di prova di tipo della griglia Concorrente 1 | 84 |
| Fig. 5.3 - Traversino della griglia Concorrente 1 dopo la prova di certificazione | 85 |
| Fig. 5.4 - Traversino della griglia Concorrente 2 dopo la prova di certificazione | 85 |
| Fig. 5.6 - Particolare superiore del traversino Concorrente 1 dopo la prova di carico | 86 |
| Fig. 5.5 - Particolare inferiore del traversino Concorrente 2 dopo la prova di carico | 86 |
| Fig. 5.7 - Vista in sezione della griglia Concorrente 1 | 87 |
| Fig. 5.8 - Particolari parte inferiore griglia Concorrente 1 | 87 |

| | |
|---|-----------|
| Fig. 5.9 - Griglia Concorrente 1 | Pagina 87 |
| Fig. 5.10 - Appoggi e punzone per la prova | 88 |
| Fig. 5.11 - Punzone utilizzato per la prova | 88 |
| Fig. 5.12 - Sistema completo per la simulazione | 88 |
| Tab. 5.1 - Impostazioni del materiale in ambiente <i>Ansys</i> | 89 |
| Fig. 5.14 - Impostazione del carico per la simulazione | 90 |
| Fig. 5.13 - Impostazione dei supporti per la simulazione | 90 |
| Tab 5.2 - Impostazioni dei contatti | 90 |
| Fig. 5.15 - Albero del progetto in ambiente <i>Ansys</i> | 91 |
| Fig. 5.16 - Risultati griglia Concorrente 1, vista inferiore | 92 |
| Fig. 5.17 - Risultati griglia Concorrente 1, vista superiore | 92 |
| Fig. 5.18 - Risultati deformazione griglia Concorrente 1 | 93 |
| Fig. 5.19 - Vista in sezione della griglia Concorrente 2 | 94 |
| Fig. 5.20 - Griglia Concorrente 2 | 94 |
| Fig. 5.21 - Risultati griglia Concorrente 2, vista inferiore | 95 |
| Fig. 5.22 - Risultati griglia Concorrente 2, vista superiore | 96 |
| Fig. 5.23 - Risultati deformazione griglia Concorrente 2 | 96 |
| Fig. 5.24 - Vista in sezione della griglia progettata | 97 |
| Fig. 5.25 - Vista in inferiore della griglia progettata | 98 |
| Fig. 5.26 - Griglia progetto 2 | 98 |
| Fig. 5.27 - Risultati griglia progettata, vista inferiore | 99 |
| Fig. 5.28 - Risultati griglia progettata, vista superiore | 99 |
| Fig. 5.29 - Risultati deformazione griglia progettata | 100 |
| Fig. 5.30 - Vista in sezione della griglia progetto parallelo | 101 |
| Fig. 5.31 - Griglia progetto parallelo | 102 |
| Fig. 5.32 - Risultati griglia progetto parallelo, vista inferiore | 103 |
| Fig. 5.33 - Risultati griglia progetto parallelo, vista superiore | 103 |
| Fig. 5.34 - Risultati deformazione griglia progetto parallelo | 104 |

In tutta probabilità il termine “plastica” è ad oggi uno tra i vocaboli di uso più comune, consuetamente utilizzato come espressione verbale nella sua forma generica quale idioma che sintetizza molteplici tipologie di materiali con più svariati impieghi.

Questa eredità semiotica è ancor più “forte” nel significato stesso del termine etimologico, generato dal connubio tra un verbo ed un sostantivo dell’antico mondo greco, “*plasseion-technè*”, “arte di plasmare”, “formare”, “modellare”; l’abilità di conferire qualsivoglia forma e dimensione materiale, alla nuda, cruda, informe materia, trasferendogli ciò che è di più irrazionale, sensazionale, metafisico ed al tempo stesso sublime, “l’idea” della forma. “*Eidos*”, vocabolo antico per designare, forma, aspetto, immagine, è ancora matrice lessicale arcaica del nostro termine moderno “idea”. La tautologia intrinseca nel significato del termine antico, l’idea di una forma, pensare un’entità di forma, un’immagine di una forma, esprime la fucina del realizzarla, del materializzarla; evoluzione immediatamente esecutiva-realizzativa del “cogito ergo sum”, massima espressione dell’intellettualità.

L’incredibile potenza del gesto di immaginare una certa entità di forma astratta e quindi riprodurla con atto pratico, modellando materia, materializzandone l’essenza, metabolizza nel

termine “plastica” ciò che di più arcaico ed antica costituisce le fondamenta della cultura moderna, immanenza e trascendenza della forma, immagine nell’essere.

L’artista quindi “plas-ma” la “plas-tilina” comprimendola con le proprie mani trasferendone in forma materiale l’idea che il modello in posa “plastica” ne rappresenta, così come il chirurgo plastico ricostruisce la fattispecie di parti del corpo lesionate o malformate, mentre il tecnologo plastico, stampa, estrude, soffia il materiale plastico, costringendolo quindi in stampi in acciaio inossidabile come una sorta di surrogato di crogiuolo, o bozzolo, quasi meno importante di ciò che dovrà contenere.

La plastica è anche tutto questo. E tutto ciò tocca i nostri sensi con grande connotazione di vitalità e stimolo per la fantasiosità. Infatti, nelle nostre mani di adulti, di persone mature, rimaniamo il retaggio tattile di quando eravamo fanciulli, prima ancora del pongo o plastiche sintetiche modellabili, del fango, della terra intrisa d’acqua, levata con le mani da una buca argillosa, si modellava in forme semplici sotto la nostra debole e giovane azione.

Qualche cenno storico

La storia della plastica nasce circa a metà del XIX° secolo, quando l’inglese Alexander Parker attraverso lo sviluppo di alcuni compositi a base di cellulosa brevetta il primo materiale plastico di natura sintetica, più nota con il nome Xylonite, impiegata all’epoca per strutture flessibili per la steccatura interna di abiti, polsini e colletti; primo passo verso lo sviluppo della celluloido.

Il ‘900 è invece considerato il secolo della plastica, infatti, il chimico Leo Baekeland, con un processo di chimico di condensazione riesce ad ottenere una resina sintetica termoindurente, nota con il nome brevettato Bakelite: questo materiale otterrà così un successo funzionale da essere utilizzato nelle più svariate applicazioni fino a circa gli anni ’30.

Sempre all’inizio del secolo un chimico tedesco di nome Fritz Klatte, scopre il processo per la produzione del PVC che otterrà grandissimi sviluppi industriali solamente molti anni dopo. Con la seconda guerra mondiale si segna definitivamente l’evoluzione della plastica alla “età adulta” con l’avvento di una vera e propria industrializzazione moderna: il petrolio diviene così la “materia prima” di eccellenza ed al contempo vengono performate ed evolute tecniche per la trasformazione in prodotti finiti, atto all’utilizzo, come ad esempio lo stampaggio. Nel

conteso delle evoluzioni tecnologiche che tutte le guerre generano, nel 1935 (Wallace Carothers) nacque il nylon (poliammide), impiegato all'epoca nell'industria tessile come fibre sintetica per calze e ancor più per i paracaduti.

Whinfield e Tennant Dickson nel 1941 basandosi sulle intuizioni dei Carothers brevettarono il polietilene tereftalato (PET), che nel secondo dopo guerra ebbe un grande successo nella produzioni di fibre tessili artificiali di poliestere (Terylene), settore nel quale è largamente impiegato tuttora per la produzione del tessuto noto commercialmente come pile. Il suo ingresso nel mondo dell'imballaggio risale al 1973, anno in cui Wyeth della Du Pont, brevettò la bottiglia in PET come contenitore per le acque minerali per uso alimentare.

Gli anni cinquanta sono invece segnati dall'irrefrenabile ascesa del polietilene, PE, mentre il punto di svolta è rappresentato dalla scoperta di Giulio Natta nel 1954 del polipropilene isotattico, a coronamento degli studi svolti sui catalizzatori per la polimerizzazione dell'etilene che gli varranno nel 1963 il Premio Nobel insieme al tedesco Karl Ziegler. Il polipropilene, PP, sarà prodotto industrialmente dal 1957 con il marchio Moplen rivoluzionando tutto il mondo moderno e soprattutto entrando negli annali della mitologia italiana quale vanto per il "boom economico".

In questi anni la plastica vede la sua più completa affermazione come strumento insostituibile nella vita quotidiana, meta e nuova frontiera per la moda, il design e l'arte. Questo nuovo materiale irrompe nel quotidiano e nell'immaginario di milioni di persone, nelle loro case, nelle loro cucine, nei loro salotti, consentendo a masse sempre più vaste di persone di accedere a consumi prima riservati a pochi privilegiati, semplificando così un'infinità di gesti quotidiani, con stravaganti forme e colori, rivoluzionando abitudini consolidate da secoli e contribuendo a creare "magicamente" in poco tempo "il nostro stile di vita moderno" in un'iconografia dai tratti fantasiosi.

Ing. Alessandro Spada

INTRODUZIONE

Lo scopo della progettazione è quello di ricercare una struttura, in materiale plastico, per il coronamento e la chiusura di canali di drenaggio che sia classificabile secondo la specifica normativa europea UNI EN 1433, all'interno della classe di carico C 250.

L'elaborato è il frutto della collaborazione con la ditta Edil Plast s.r.l., azienda impegnata nella realizzazione e vendita di prodotti finiti in materiali plastici per l'edilizia, con sede a Forlì e con la casa madre, la First Plast s.r.l. con sede ad Altare di Savona.

Il progetto è stato scelto tra diverse proposte al termine del tirocinio curricolare svolto presso la sede di Forlì durante la fase di studio in Ingegneria Meccanica Laurea Magistrale.

In un momento particolare come quello che sta attraversando l'economia italiana e mondiale negli ultimi anni, per non scomparire, le aziende devono ricercare nuovi guadagni nell'aggiornamento delle tecnologie utilizzate o nel lancio sul mercato di nuovi prodotti che costituiscano una fonte di nuove entrate.

Per questo motivo le aziende sono sempre più attente ai movimenti della concorrenza, per monitorarne le azioni ed, eventualmente, seguirne le intuizioni, nel caso queste si rivelassero valide.

Attualmente le griglie classificate C 250 presenti sul mercato sono prodotte prevalentemente in ghisa. Questo materiale offre una resistenza molto elevata, ma ha anche il difetto di essere molto pesante e di avere una resa estetica non entusiasmante.

Per questa serie di motivi la presentazione al mercato, da parte dei *competitors*, di griglie prodotte in materiale plastico, nylon PA66 30 FV, ha riscosso un grande successo a livello commerciale.

Già da qualche tempo si è percepita, all'interno dell'azienda, la necessità di sviluppare un prodotto nuovo, al fine di competere in un settore di mercato dove aziende concorrenti sono già inserite con ottimi risultati. Con l'occasione di questa tesi si è deciso, dunque, affrontare il progetto di una griglia in materiale plastico, nel tentativo di competere in un settore di mercato del tutto nuovo e relativamente poco sfruttato.

Le metodologie utilizzate nel corso dello studio affrontato riguardano la comprensione delle regolamentazioni da rispettare, la scelta del materiale adatto e la valutazione comparativa, delle idee sviluppate nel corso dello studio, con i prodotti che hanno motivato la tesi.

Per ottenere una soluzione valida si è affrontato uno studio della normativa europea UNI EN 1433 che regola le certificazioni di questi particolari prodotti. Le griglie con classe di carico C 250 sono dedicate alla posizione lato/bordo strada e devono superare severe prove di resistenza al carico per poter essere classificate in conformità con la norma europea. In un primo momento lo studio della normativa è servito quindi per comprendere le modalità con cui un prodotto viene testato. Per poter determinare la classe di carico, il prodotto deve resistere ad un carico minimo calcolato in base alle dimensioni della superficie libera.

Successivamente si è affrontata la scelta del materiale migliore da utilizzare in termini di resistenza al carico, stampabilità e resa estetica. Questa fase ha visto impegnato il laboratorio qualità interno all'azienda, dove diverse campionature di materiale sono state testate in base ai criteri esposti per giungere ad una scelta ottimale in funzione del fine prefissato.

L'individuazione della pressa adatta su cui eseguire la stampata è stata una conseguenza della scelta del materiale. Ogni tipologia di materia prima si comporta in modo differente all'interno delle macchine. Occorre infatti tenere conto della densità del fuso, delle temperature a cui il granulato cambia di stato e dei tempi di raffreddamento necessari all'interno dello stampo per ottenere un prodotto completo e dimensionalmente stabile. Per non intraprendere la produzione su un macchinario sottodimensionato, la scelta è stata fortemente condizionata dal tonnellaggio delle presse. Inoltre, a seconda delle plastiche da lavorare, anche la vite di plastificazione ha caratteristiche diverse, più o meno performanti.

La parte principale dell'elaborato riguarda, infine, lo studio delle strutture ottimali per soddisfare l'obiettivo prefissato: la certificazione di classe di carico C 250.

Dato che l'ispirazione al progetto deriva dall'osservazione del mercato e delle attività della concorrenza, sono state prese in esame due griglie prodotte da altre società, sulle quali condurre prove di *benchmarking*, con lo scopo di ottenere un parametro di confronto con le soluzioni ideate durante lo studio del progetto.

Seguendo le indicazioni fornite dai risultati ottenuti, si è perseguita una soluzione soddisfacente per l'azienda. In conclusione, tutti gli studi del presente elaborato sono definiti nell'ottica finale di presentare al mercato una struttura che costituisca un'ulteriore soluzione, diversificata, rispetto alle applicazioni proposte dai concorrenti e alle soluzioni in ghisa attualmente in produzione all'azienda.

1. PROCEDURE AZIENDALI PER L'APPROVAZIONE DI NUOVI PROGETTI

Prima di investire nella progettazione e nella produzione di un nuovo prodotto da commercializzare è necessario seguire un iter procedurale volto all'analisi dettagliata di tutti i pro e i contro di un eventuale investimento.

All'interno dell'azienda questo processo è diviso essenzialmente in tre parti principali:

1. *Input*: tutti i dati ed informazioni in entrata;
2. Sviluppo della progettazione;
3. *Output*: tutti i dati, documenti, eventuali prototipi generati in uscita.

Ognuna di queste fasi è caratterizzata da una serie di attività che generano documenti:

- tecnici di supporto per la realizzazione (specifiche, disegni, schemi, diagrammi di processo, distinte base)
- relativi al riesame, verifica e validazione della progettazione (risultati di prove e dimostrazioni di fattibilità ed affidabilità, calcoli, riesame della progettazione).

L'importanza di questa documentazione deriva:

- a. dalla necessità di poter rintracciare le attività e le decisioni legate alla realizzazione del progetto, soprattutto nel caso di rilevazione di difetti o guasti durante le fasi di produzione, controllo, collaudo e di utilizzo;
- b. dalla opportunità di disporre di informazioni chiare e definite sulle caratteristiche qualitative del prodotto (devono essere a tal proposito definiti e correlati unicamente al prodotto le specifiche, i disegni, le norme, le tabelle, gli standard interni ed i cicli di fabbricazione ed assemblaggio);
- c. dalla possibilità della pianificazione realizzativa legata all'esistenza di disegni e descrizioni del prodotto finito;
- d. dalla fattibilità del riesame del progetto basato sull'ausilio di documenti testimonianti "l'evidenza oggettiva" di quanto è stato fatto;

1.1 Analisi dei dati di *input*

A monte dell'approvazione di un progetto è indispensabile l'attenta valutazione delle motivazioni che hanno sollevato tale necessità e i rischi cui si va incontro.

Di norma, la spinta alla realizzazione di un nuovo prodotto può venire direttamente da un'intuizione della proprietà o attraverso un'analisi di mercato da parte dell'ufficio tecnico commerciale.

La fase successiva si articola nella ricerca del maggior numero di informazioni possibili che avvallino o declinino la proposta. Questi sono i dati di *input*: tutte le conoscenze preliminari che vengono esposte per capire se un nuovo prodotto, una modifica ad uno esistente o qualsiasi altra operazione che preveda un esborso di denaro, presentano margini di guadagno e se questi sono tali da giustificare un investimento.

L'analisi dei dati di *input* consiste dunque nelle seguenti operazioni:

- definizione e verifica dei requisiti/specifiche cliente (interno/esterno);
- studio delle norme di riferimento;

- revisione delle esperienze in progetti simili;
- analisi dei feed-back dei clienti;
- analisi ed esame della concorrenza.

Al termine di queste operazioni la proprietà è in grado di decidere se un prodotto è necessario all'interno del catalogo produttivo dell'azienda e quindi se intraprenderne la progettazione e la produzione.

1.2 Sviluppo prodotto

Conclusa la prima fase, si può procedere alla realizzazione del progetto per il nuovo prodotto. La progettazione deve, ovviamente, tenere conto di tutti i dati di *input* raccolti al punto precedente. Sono le decisioni prese durante l'analisi preliminare che rendono il progetto conveniente. È dunque compito del progettista realizzare un prodotto che sia in linea con le linee guida stilate nella fase iniziale.

In un primo momento si studiano le caratteristiche funzionali del nuovo prodotto. I dati/requisiti per la progettazione che vengono presi in considerazione sono: campione di riferimento, disegno/bozza del particolare, tipo di materia prima, caratteristiche delle attrezzature (numero impronte), caratteristiche dimensionali (spessori), norme di riferimento, caratteristiche estetiche, caratteristiche funzionali (temperatura di esercizio), requisiti di legge.

Terminata la definizione preliminare delle caratteristiche principali, verificato che siano conformi ai requisiti dell'azienda e delle normative, si può procedere con la progettazione del nuovo prodotto.

1.3 Osservazione dei dati di *output*

Conclusa la fase di progettazione si ordina lo stampo al produttore. Prodotta l'attrezzatura necessaria si procede con la prova dello stampo in pressa. I prodotti che vengono generati

sono analizzati dal laboratorio qualità per verificare che il prodotto finito corrisponda, per caratteristiche dimensionali e prestazioni meccaniche, ai risultati previsti in fase di progettazione.

I dati di *output* sono dunque le informazioni che si raccolgono al termine della progettazione e sono importanti perché costituiscono “la cartina tornasole” della validità della fase di progettazione.

Per la redazione dell’elaborato si fa riferimento, dunque, all’iter procedurale aziendale che regola lo sviluppo dei nuovi prodotti. In un primo momento si è intrapreso lo studio della norma. Compresa la normativa l’attenzione si è spostata sulla scelta del materiale che rendesse realizzabile il progetto e della pressa che avesse le caratteristiche necessarie per sostenere la produzione.

Conclusi gli studi iniziali si è potuta dedicare l’attenzione interamente alla progettazione della nuova griglia e alla simulazione delle prove di carico per verificarne la validità.

2. LA NORMA UNI EN 1433

L'obiettivo della tesi è la progettazione di una griglia, con classe di carico C 250, in conformità con la normativa europea che regola questo tipo di prodotti (UNI EN 1433), relativa alle canalette di drenaggio per la raccolta e il convogliamento delle acque superficiali installate in aree soggette al passaggio di veicoli e/o pedoni.

2.1 Definizioni

Nel testo vengono inizialmente fornite le definizioni e i termini specifici degli oggetti trattati:

- **Canaletta di drenaggio:** gruppo rettilineo composto da elementi prefabbricati, che consente la raccolta e il convogliamento di acque superficiali lungo tutta la sua lunghezza per lo scarico progressivo.

Questo tipo di prodotto vede una ulteriore classificazione in due sottofamiglie:

1. Tipo I: canaletta di drenaggio che non richiede un ulteriore supporto per sostenere i carichi orizzontali e verticali durante il servizio.
 2. Tipo M: canaletta di drenaggio che richiede ulteriore supporto atto a sostenere i carichi orizzontali e verticali durante il servizio.
- Unità grata: unità prefabbricata della canaletta di drenaggio con sommità aperta, nella quale sono inserite griglie e/o coperture, fig. 2.1.

Legenda

- 1 Griglia
- 2 Corpo della canaletta
- h, b Dimensioni interne (perimetro bagnato)

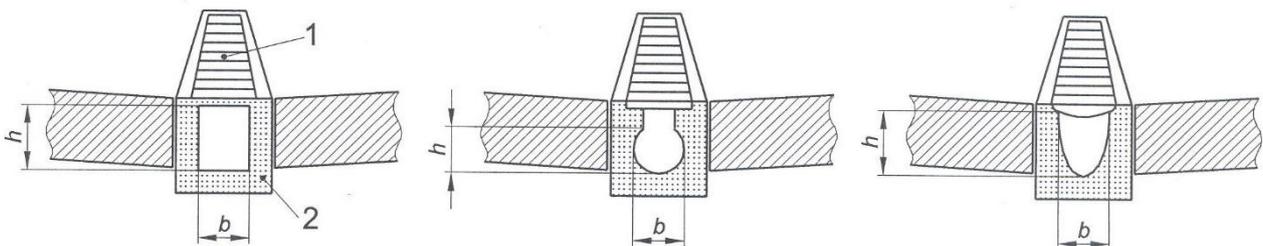


Fig. 2.1 - Esempi di unità grata.

- Griglia/copertura: parti asportabili dell'elemento grata che permettono, nel caso delle griglie, l'ingresso dell'acqua, fig. 2.2.

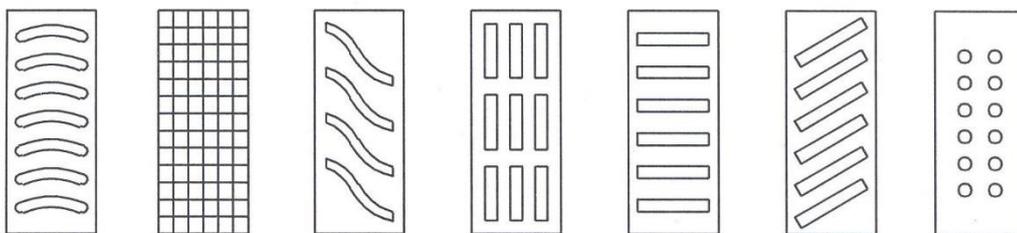


Fig. 2.2 - Esempi di griglie.

- Acqua di scorrimento superficiale: acqua drenata dalla superficie di edifici, strutture o dal suolo.
- Sede: superficie sulla quale poggiano la griglia o la copertura sul corpo di una canaletta di un elemento grata.
- Area libera: area non ostruita tra la sede.
- Profondità di inserimento delle grate o delle coperture: dimensione A illustrata in figura 2.3, da utilizzare per fissare le grate o le coperture nella canaletta.

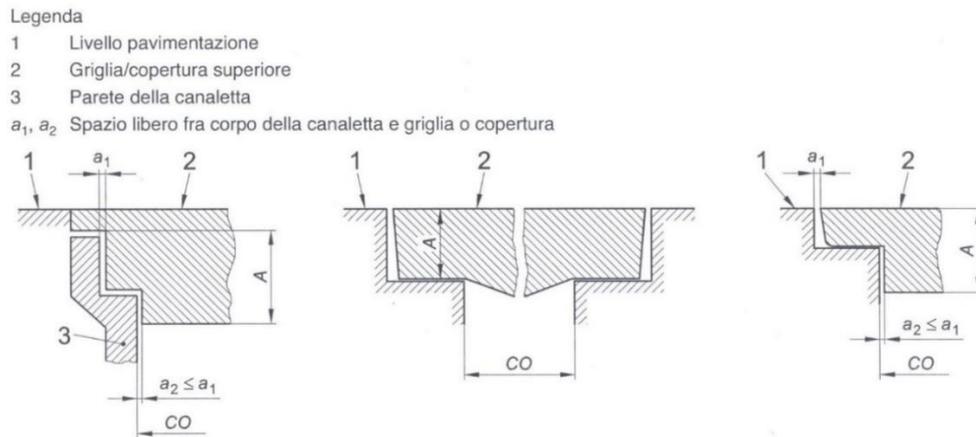


Fig. 2.3 - Esempi di profondità di inserimento.

- Apertura libera CO: larghezza non ostruita tra la sede delle unità grata, fig. 2.4.

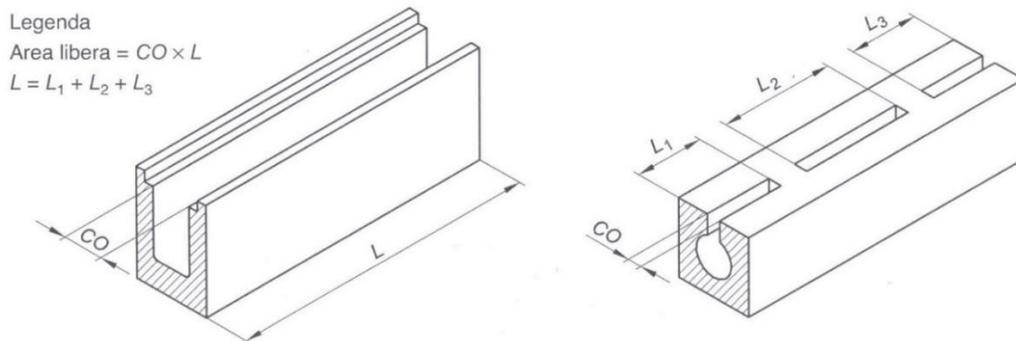


Fig. 2.4 - Esempi di aree libere.

- Carico di prova: carico applicato ad una griglia/copertura oppure ad una unità canaletta durante la prova.
- Carico ultimo (di rottura): il carico massimo raggiunto dalla macchina per prove durante la prova di carico (ovvero quando la struttura che registra il carico non mostra nessun incremento ulteriore).
- Area per il passaggio acqua: area totale delle fessure nelle griglie all'interno dell'area libera, oppure delle altre aperture di ingresso di drenaggio nelle unità cordolo.
- Prova di tipo: Prova che ha per oggetto la progettazione e che è condotta una sola volta allo scopo di dimostrare la conformità con la norma e che si ripete solo dopo modifiche significative in termini di fabbricazione, progettazione o materiale.

2.2 Classificazione

Le canalette di drenaggio devono essere classificate in conformità al loro uso previsto in una categoria tra le sei stabilite: A 15, B 125, C250, D 400, E 600, F 900.

La scelta della classe di carico appropriata per una canaletta di drenaggio dipende dal luogo nel quale la canaletta è destinata ad essere installata.

I luoghi tipici della messa in opera sono stati suddivisi in gruppi numerati da 1 a 6 come elencato di seguito, fig. 2.5.

L'indicazione relativa al tipo di classe di carico minimo della canaletta di drenaggio, che dovrebbe essere selezionato, è indicata tra parentesi per ciascun gruppo.

La responsabilità della selezione della classe di carico appropriata è a carico del progettista.

In caso di eventuali dubbi, dovrebbe essere selezionata una classe di carico maggiore.

Gruppi di posa in opera:

1. Minimo classe A 15: aree che possono essere utilizzate esclusivamente da pedoni e ciclisti.
2. Minimo classe B 125: percorsi pedonali, aree pedonali e aree paragonabili, parcheggi per auto privati o parcheggi per auto multipiano.
3. Minimo classe C 250: lati cordolo e aree non esposte a traffico di banchine e simili; gli elementi cordolo rientrano sempre nel gruppo 3.
4. Minimo classe D 400: strade rotabili (comprese le vie pedonali), banchina e aree di parcheggio per tutti i tipi di veicoli stradali.
5. Minimo classe E 600: aree soggette a carichi su grandi ruote, per esempio strade di porti e darsene.
6. Minimo F 900: Aree soggette a carichi di ruote particolarmente grandi, per esempio le pavimentazioni per i veicoli.

Legenda

- 1 Gruppo 1
(per esempio sui ponti pedonali)
- 2 Gruppo 2
- 3 Gruppo 3
- 4 Gruppo 4

Dimensioni in metri

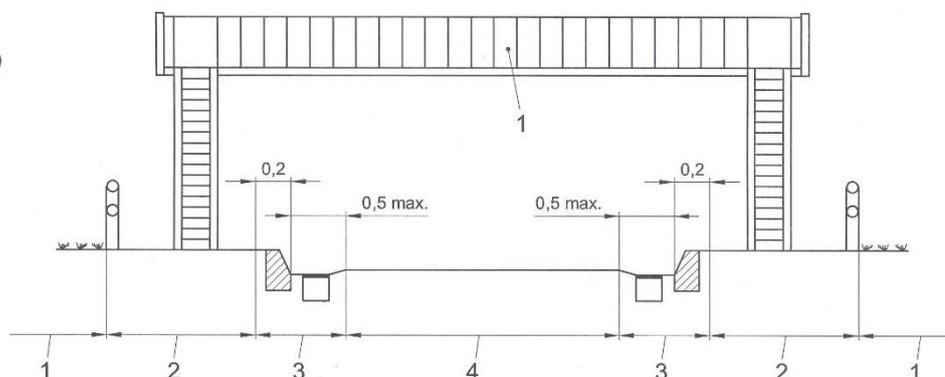


Fig. 2.5 - Tipica sezione trasversale autostradale che illustra l'ubicazione di alcuni tipi di posa in opera.

2.3 Requisiti di progettazione e fabbricazione

Le canalette di drenaggio devono essere prive di difetti che potrebbero comprometterne l' idoneità all'impiego (per esempio fori o bordi rovinati).

Due o più materiali possono essere abbinati per formare un composito, sufficiente a trasferire le sollecitazioni tra i suddetti materiali.

Le unità canaletta di drenaggio devono possedere una resistenza verticale e laterale adeguata a sostenere i carichi e le sollecitazioni di trasporto e movimentazione normali, quando installate in conformità alle istruzioni del fabbricante.

| Tipo di dimensione | Dimensioni nominali | Tolleranza |
|--|-------------------------------|--|
| Lunghezza (L) | $L \leq 1\ 000$ | ± 2 |
| | $1\ 000 < L^{a)} \leq 4\ 000$ | ± 4 |
| | $L > 4\ 000$ | ± 5 |
| Larghezza (b) | $b \leq 500$ | ± 2 |
| | $500 < b \leq 1\ 000$ | ± 3 |
| Altezza (h) | $h \leq 200$ | ± 2 |
| | $h > 200$ | $\pm 1\%$ con un massimo di ± 3 mm |
| a) Per le unità cordolo e fessure la tolleranza della dimensione L deve essere ± 5 mm. | | |

Tab. 2.1 - Tolleranze dimensionali.

Le canalette di drenaggio devono resistere alle forze esterne risultanti dal luogo di posa in opera, per esempio all'applicazione del carico dovuta al traffico, all'espansione termica, o da sole o mediante un metodo di posa in opera consigliato dal fabbricante.

Le tolleranze dimensionali (tab. 2.1), salvo altrimenti specificato nella norma, devono essere tali da garantire l' idoneità all'impiego e la conformità con tutti gli altri requisiti della normativa.

Le dimensioni delle fessure delle griglie delle unità griglia sono subordinate all'orientamento degli assi longitudinali delle fessure in relazione con la direzione del traffico, fig. 2.6, tab. 2.2.

| Orientamento | | Larghezza mm | Lunghezza mm |
|--------------|----------------------------------|--------------|---------------------|
| N° 1 | da 0° a 45° e da >135° a 180° | da ≥10 a 18 | nessuna limitazione |
| | | da >18 a 32 | ≤170 ^{a)} |
| N° 2 | da 45° a 135° | da ≥10 a 42 | nessuna limitazione |

Nota Nelle vie pedonali e nelle aree pedonali la larghezza delle fessure può essere ridotta a 5 mm a discrezione di chi scrive la specifica.

a) È permessa una deviazione da questo requisito per unità fessura e unità cordolo progettate per installazione in luoghi in cui non è permesso il traffico delle biciclette. Chi redige la specifica è responsabile di assicurare che è sicuro utilizzare il prodotto nell'area di destinazione, in cui tale deviazione dai presenti requisiti è considerata.

Tab. 2.2 - Dimensioni per le classi da C 250 a F 900.

- Legenda
- 1 Orientamento N° 1
 - 2 Orientamento N° 2
 - 3 Direzione del traffico

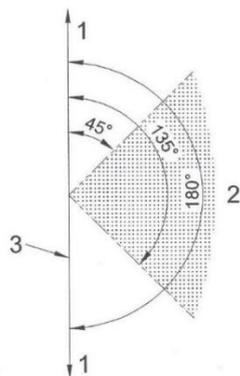


Fig. 2.6 - Orientamento delle fessure.

2.4 Prove di resistenza

Le griglie e le coperture devono essere sottoposte a prove in relazione alla classe appropriata come segue:

| Classe | Carichi di prova kN |
|--------|---------------------|
| A 15 | 15 |
| B 125 | 125 |
| C 250 | 250 |
| D 400 | 400 |
| E 600 | 600 |
| F 900 | 900 |

Tab. 2.3 - Carichi di prova.

- griglie e coperture per unità grata con aperture libere $CO \geq 250$ mm devono essere sottoposte a prova applicando il carico di prova intero, come indicato nella tabella 2.3.
- griglie e coperture per unità grata con larghezza di $CO < 250$ mm devono essere sottoposte a prova sulla base di:

$$\frac{CO}{250} \times \text{carico di prova}$$

con un minimo di $0,6 \times$ carico di prova.

2.4.1 Apparecchiature di prova

2.4.1.2 Macchina di prova

La macchina di prova, preferibilmente una pressa idraulica per prove, deve essere in grado di applicare un carico almeno maggiore del 25% del carico di prova rispettivo per le classi da A 15 a D 400 e almeno maggiore del 10% del carico di prova rispettivo per le classi E 600 e F 900. La macchina di prova deve essere in grado di applicare il carico in maniera uniforme sul blocco sottoposto a prova.

Le dimensioni del banco della macchina di prova devono essere maggiori dell'area portante dell'elemento sottoposto a prova.

2.4.1.3 Blocchi di prova

Le dimensioni e le forme dei blocchi di prova sono descritte in dettaglio nella tabella 2.4.

| Per le prove su corpi di canaletta (unità grata, unità fessura ed unità cordolo) con dimensione nominale | | Per griglie e coperture di prova delle unità grata con un'apertura libera CO ^{a)} | | |
|--|---------|--|----------------------|---------|
| ≤200 mm | >200 mm | <200 mm | 200 mm ≤ CO ≤ 300 mm | >300 mm |
| | | | | |
| OW Larghezza complessiva dell'unità canaletta. a) Vedere punto 3, figure 7 e 8. | | | | |

Tab. 2.4 - Dimensioni dei blocchi di prova.

2.4.2 Preparazione e procedimento della prova

Le prove sulle griglie e le coperture devono essere eseguite o nell'unità grata o in un telaio di prova idoneo che deve essere collocato sul banco della macchina di prova, in maniera da essere disteso su di esso senza sporgere.

Tutte le griglie e le coperture devono essere sottoposte alle prove seguenti:

1. misurazione della serie permanente:

la serie permanente delle griglie o delle coperture deve essere misurata dopo l'applicazione di $\frac{2}{3}$ del carico di prova. La serie permanente deve essere misurata con un'accuratezza di 0,1 mm.

La serie permanente deve essere misurata in corrispondenza del punto centrale nella griglia o nella copertura. Il punto deve essere marcato e, dove necessario, sottoposto a lavorazione. Rilevare una lettura iniziale prima di applicare il carico.

L'applicazione del carico deve essere incrementata in maniera uniforme con un tasso di (2 ± 1) kN/s fino a $\frac{2}{3}$ del carico di prova; il carico sul provino deve essere quindi

rilasciato. Tale procedimento deve essere eseguito cinque volte. Rilevare quindi una lettura finale.

La serie permanente deve quindi essere determinata quale differenza dei valori misurati prima della prima e dopo la quinta applicazione del carico. La serie permanente non deve superare i valori indicati nella tabella 2.5;

| Classe | Serie permanente ammessa espressa quale frazione della larghezza CO (vedere figure 7 e 8) mm | |
|--|--|---------------------|
| A 15 e B 125 | $\frac{CO}{50}$ a) | |
| Da C 250 a F 900 | $\frac{CO}{300}$ b) | $\frac{CO}{500}$ c) |
| a) $\frac{CO}{100}$ quando $CO \geq 450$ mm. b) 1 mm max. quando $CO < 300$ mm. c) 1 mm max. quando $CO < 500$ mm. | | |

Tab. 2.5 - Serie permanente ammessa di griglia.

2. applicazione del carico di prova:

immediatamente dopo la prova specificata al punto precedente il carico deve essere incrementato in maniera uniforme con un tasso di (2 ± 1) kN/s, fino al raggiungimento del carico di prova. Il carico di prova deve essere mantenuto per un periodo di 30 s, quindi rilasciato, e le griglie o le coperture non devono presentare cedimenti.

Nel caso di griglie e coperture fabbricate con materiali non metallici sul provino non devono apparire cricche né sfogliature che compromettano la capacità portante fino al raggiungimento del carico di prova.

2.5 Marcatura

Griglie e coperture devono essere marcate come segue:

- il numero della presente normativa, EN 1433;
- la classe appropriata (per esempio C 250);
- il nome e/o il marchio di certificazione del produttore della griglia o della copertura, e il luogo di produzione che può essere codificato;
- il nome e/o il marchio di certificazione dell'unità grata;
- la data di produzione (codificata o non codificata);

e possono essere marcate con:

- marcature aggiuntive correlate all'applicazione prevista da parte dell'utilizzatore;
- marchio di un organismo di certificazione, quando applicabile;
- identificazione del prodotto (nome e/o numero di catalogo).

Le marcature delle griglie, delle coperture e dei corpi canaletta devono essere esaminate visivamente.

2.6 Valutazione di conformità

Per dimostrare la conformità alla presente norma, tutti i prodotti fabbricati devono essere sottoposti ai seguenti procedimenti:

- prove di tipo sui prodotti: serie permanente e prova di carico (descritte al punto 1.4.2), che devono essere condotte su tre prodotti completi per dimostrarne la conformità alla presente norma. I resoconti completi di queste prove devono essere conservati dal

fabbricante affinché possano essere messi a disposizione della parte terza (se pertinente) per essere esaminati;

- controllo della produzione in fabbrica, sulla base di un sistema di controllo della qualità. Il fabbricante deve verificare la qualità dei prodotti durante la loro fabbricazione mediante un sistema di controllo del processo allo scopo di soddisfare in maniera coerente i requisiti tecnici della presente norma. Il controllo della qualità deve essere indipendente dalla produzione e deve essere condotto da personale preparato.

Il fabbricante deve inoltre stabilire e mantenere un programma di qualità che elenchi il procedimento e i controlli finali. I programmi di qualità devono contenere le modalità e la frequenza delle ispezioni nonché la documentazione richiesta.

Le operazioni e la documentazione relative al controllo della produzione devono comprendere i dettagli di tutte le fasi della produzione dall'arrivo delle materie prime fino al prodotto finale in uscita dallo stabilimento. La documentazione deve essere conservata da 1 a 5 anni affinché possa essere disponibile per esempio per un'ispezione da parte di un ispettore per conto di terzi (se pertinente).

Per quanto riguarda i prodotti non conformi questi devono essere immagazzinati separatamente ed esclusi dalla consegna, e devono essere fornite istruzioni per un'ulteriore movimentazione/gestione.

3. I TECNOPOLIMERI

3.1 Definizione di tecnopolimero

Per tecnopolimeri, nel senso più ristretto, si intendono quei materiali plastici che possiedono proprietà fisiche e meccaniche adeguate per applicazioni strutturali, in uso prolungato in un ampio intervallo di temperature e/o sotto sforzo meccanico e/o in ambiente chimico aggressivo. La legge di Hooke, che definisce la dipendenza lineare fra la sollecitazione applicata ad un manufatto e la relativa deformazione, mantiene la sua validità, per i tecnopolimeri, in un intervallo di temperatura e sollecitazioni più ampio di quello dei termoplastici per uso generale.

Per questo motivo i tecnopolimeri vengono proposti come sostituti dei metalli e dei materiali strutturali tradizionali. I prodotti di questo tipo, sviluppati negli ultimi decenni, sono numerosi e coprono un ampio intervallo di prestazioni, raggiungendo, in qualche caso, valori molto elevati della temperatura massima ammissibile in esercizio continuato. Generalmente, all'aumento delle caratteristiche termiche, corrisponde però un decadimento della lavorabilità. Alcuni materiali dotati di temperatura di inflessione sotto carico (HDT) molto

elevata non sono trasformabili con le condizioni convenzionali di stampaggio, estrusione e blow-molding e possono pertanto trovare solo applicazioni molto specializzate.

La gamma dei tecnopolimeri di maggior uso è composta dalle seguenti famiglie di termoplastici:

- poliammidiche;
- poliacetaliche;
- poliesteri saturi;
- policarbonati;
- polifenilenossidi;
- polisolfoni;
- polimeri fluorurati.

Una precisa delimitazione della categoria dei tecnopolimeri non è tuttavia possibile, in quanto alcuni polimeri tradizionali possono, in diversi casi, soddisfare le esigenze delle applicazioni strutturali, sia se si dimensionano opportunamente i manufatti, sia se si provvede con opportune additivazioni (cariche, fibre ecc.).

Di conseguenza può concorrere con la categoria dei tecnopolimeri una vasta gamma di prodotti, come ad es.: resine viniliche a più elevato contenuto di cloro, resine ABS, acriliche ecc..

Un'altra classe di prodotti che ha notevole attinenza con i tecnopolimeri è quella degli elastomeri speciali: anche questi materiali trovano le loro principali applicazioni in relazione alle capacità di mantenere le proprie caratteristiche elastiche in un ampio intervallo di temperatura e di tempo, anche se esposte all'azione di agenti chimici aggressivi (solventi, ossigeno atmosferico, ozono, ecc.). Esempi tipici sono le gomme fluorurate, le siliconiche, le acriliche e per alcuni aspetti le nitriliche e le EPDM.

3.2 Temperatura di transizione vetrosa, o del secondo ordine (Tg)

I materiali termoplastici in generale, quindi anche i tecnopolimeri nello specifico, sono caratterizzati da un'importante proprietà fisica, definita come la “temperatura di transizione vetrosa”.

La temperatura di transizione vetrosa, o del II ordine, corrisponde fisicamente ad un aumento del grado di libertà molecolare, ciò comporta una diminuzione della stabilità dimensionale del polimero e, più in generale, una brusca variazione delle sue caratteristiche fisiche; essa divide lo stato a comportamento vetroso da quello a comportamento gommoso, e definisce una zona di transizione delle prestazioni del polimero e dei manufatti da questo ottenuti. La Tg varia da polimero a polimero in quanto legata alla struttura molecolare; nella Tabella 3.1 si riporta la Tg di alcuni polimeri termoplastici del commercio.

| Polimero | Tg °C |
|---------------------------------|--------------|
| Polietilene | - 120 |
| Polipropilene | - 10 |
| Policloruro di Vinile | + 87 |
| Polistirolo | + 100 |
| Policarbonato | + 150 |
| Policaprolattame (Poliammide 6) | + 50 |

Tab. 3.1 - Tg di alcuni polimeri termoplastici.

La Tg può essere spostata mediante la polimerizzazione di monomeri aventi diversa natura chimica dando luogo a dei copolimeri, oppure mediante additivazione al polimero di particolari sostanze (ad es. plastificanti).

Nella fig. 3.1 si illustra, come esempio, lo slittamento verso sinistra della Tg di un policloruro di vinile qualora plastificato con dibutilftalato (modulo torsionale).

Questa operazione permette di ottenere dei materiali che alle temperature di utilizzo hanno moduli di elasticità notevolmente più bassi rispetto al materiale non plastificato e pertanto più flessibili.

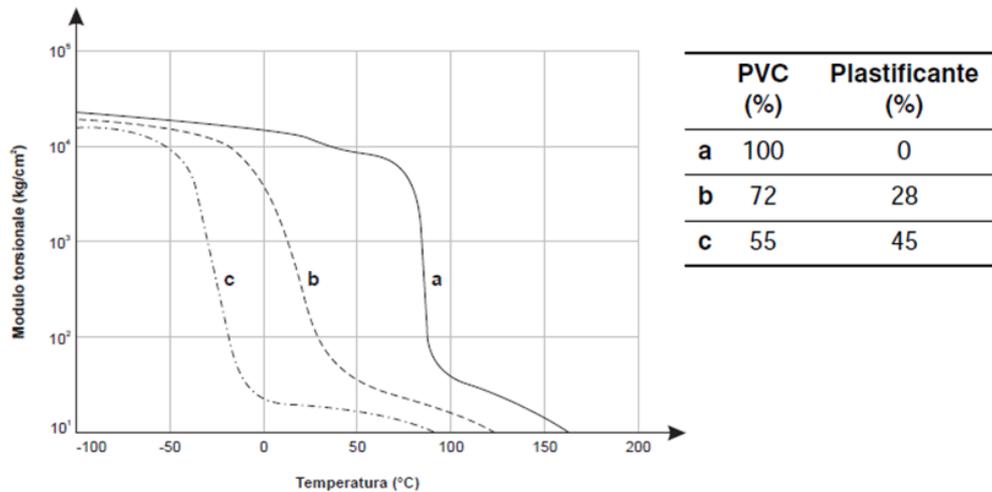


Fig. 3.1 - Variazione del modulo torsionale G di un materiale plastico amorfo: policloruro di vinile, con e senza plastificante (dibutil ftalato), in funzione della temperatura.

3.3 Natura viscoelastica dei materiali termoplastici

La natura chimico – fisica degli alti polimeri sintetici comporta, nei processi di deformazione degli stessi, il contributo di una componente viscosa e di una componente elastica.

In altri termini il comportamento alla deformazione di un corpo viscoelastico, sottoposto ad un carico esterno, può essere interpretato come una molla ed un ammortizzatore posti in parallelo. Ciò significa, in altri termini, che la deformazione di un polimero termoplastico sotto l'effetto di un carico applicato comporta sia deformazioni elastiche, quindi recuperabili, sia deformazioni plastiche, quindi irreversibili. Il contributo di questi due aspetti è legato all'entità della sollecitazione applicata ed alla temperatura.

3.4 Dati usuali di caratterizzazione forniti per i materiali plastici

Nella letteratura tecnica commerciale i dati con cui viene presentato un materiale plastico sono necessariamente ridotti ad alcune proprietà indice, tuttavia molti di questi dati, debitamente interpretati, possono fornire sufficienti orientamenti applicativi.

La prima considerazione nella scelta del materiale concerne i limiti di temperatura massima e minima a cui esso può essere impiegato. Il limite massimo di temperatura è individuabile attraverso il grado Vicat oppure con misure analoghe quali il grado Martens o la temperatura di inflessione sotto carico (HDT).

Queste determinazioni permettono, mediante criteri sperimentali semplici, di determinare una temperatura prossima alla temperatura di transizione vetrosa.

Il grado Vicat, il grado Martens e la HDT, poiché rispondono a modalità sperimentali diverse, generalmente esprimono temperature che differiscono tra loro di qualche grado centigrado; tutte però cadono intorno alla temperatura di transizione vetrosa del materiale. Da un punto di vista pratico esprimono un intorno di temperatura limite, oltre il quale un materiale termoplastico amorfo perde la sua stabilità dimensionale e diviene pertanto inutilizzabile ai fini applicativi. Considerazioni particolari richiedono i materiali parzialmente cristallini come ad esempio le poliammidi.

Nella fig. 3.2 si riporta la variazione del modulo di elasticità a torsione con la temperatura per alcuni tipi di poliammidi. Esse presentano una temperatura di transizione vetrosa della struttura amorfa intorno ai 50°C; intorno a questa temperatura si ha un flesso delle caratteristiche meccaniche; tuttavia il persistere di regioni a struttura cristallina oltre la temperatura di transizione vetrosa, permette l'utilizzo delle poliammidi anche a temperature superiori. L'andamento del modulo oltre la zona di flesso indica il persistere di un soddisfacente livello di resistenza meccanica fino a temperature dell'ordine di 140°C.

La definizione del limite minimo di temperatura è generalmente alquanto più critica. Sperimentalmente si è rilevato che sottoponendo un materiale ad una determinata sollecitazione meccanica e diminuendo progressivamente la temperatura è possibile cogliere una zona di transizione “tenace – fragile” relativamente alle condizioni sperimentali scelte.

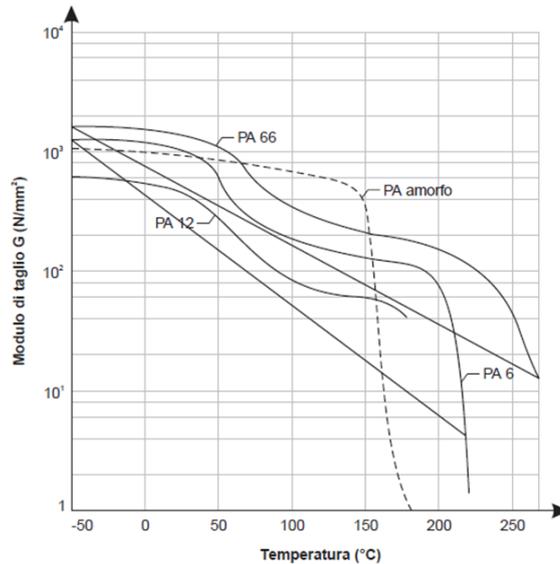


Fig. 3.2 - Curve modulo di taglio-temperatura.

Nei bollettini tecnici vengono generalmente forniti valori di resilienza secondo Izod o Charpy a diversi livelli di temperatura (ad es. 23°C, 0°C, - 10°C ecc...) che peraltro non sempre permettono di individuare la zona di transizione “tenace – fragile”. Nelle documentazioni più accurate vengono fornite curve che esprimono la variazione in continuo della resilienza con la temperatura. L’esistenza di una transizione “tenace – fragile”, non esclude l’impiego del materiale alle temperature a cui compete il comportamento fragile qualora il livello di resistenza meccanica del materiale convenga al particolare caso applicativo.

3.4.1 Caratterizzazione delle proprietà meccaniche

Queste caratterizzazioni coinvolgono modalità di prova notevolmente differenti per quanto riguarda la velocità di sollecitazione.

Volendo indicare una classificazione didattica possiamo distinguere i seguenti casi:

- a. strutture sollecitate meccanicamente per tempi brevi;
- b. strutture sollecitate meccanicamente per tempi lunghi;
- c. strutture sottoposte a sollecitazioni meccanicamente istantanee.

Il caso a. riguarda le analisi effettuate al dinamometro, dove si opera con velocità di sollecitazione costante (valori scelti generalmente tra 3 e 500 mm/min. dipendentemente dalla natura del materiale).

Il caso b. corrisponde alle analisi condotte a carico costante (*creep*), che rivestono una notevole importanza di un punto di vista pratico. Il caso c. riguarda in pratica la resistenza all'urto del materiale (velocità di sollecitazione dell'ordine di alcuni m/s). Il comportamento del materiale alle 3 classi di sollecitazioni si può definire come la sua resistenza meccanica.

3.4.2 Invecchiamento

Normalmente per resistenza all'invecchiamento di un materiale plastico si intende la sua stabilità agli agenti atmosferici.

Le prove accelerate di invecchiamento (W.O.M. – Xenotest ecc...), si basano quindi sulla semplice esposizione di un provino ad una sorgente di radiazioni note, in condizioni controllate di umidità e temperatura. In effetti qualsiasi alterazione:

- fisica (temperatura, radiazioni, umidità, sollecitazioni meccaniche);
- chimica (attacco per sostanze ossidanti, riducenti, acide, alcaline, solventi);
- biologica (microrganismi);

che un materiale plastico può subire nel corso della sua applicazione, rientra nel quadro del suo comportamento all'invecchiamento.

Si deve anche tener conto che raramente queste cause d'invecchiamento compaiono in forma singola, ma bensì variamente combinate tra loro.

Accanto alle forme di degradazione dovute ad una reazione tra materia plastica e l'ambiente esterno, si debbono tener presenti anche le cause intrinseche di alterazione.

Si possono infatti verificare delle modificazioni che procedono senza intervento di cause esterne e danno quindi luogo ad un invecchiamento intrinseco. Studi sull'argomento hanno spiegato processi di infrangimento di materiali per stoccaggio ed impieghi al di sotto della temperatura di transizione del II° ordine.

3.4.2.1 Invecchiamento agli agenti atmosferici

L'energia radiante (radiazioni ultraviolette in particolare) può rompere i legami delle catene polimeriche provocando fenomeni di degradazione molecolare; l'effetto della temperatura e dell'ossigeno dell'aria può inoltre provocare concomitanti fenomeni di degradazione termossidativa.

Le varie categorie di polimeri presentano diversa sensibilità a questi fenomeni; additivazione specifiche (assorbitori di radiazioni ultraviolette, antiossidanti) possono incrementare notevolmente la stabilità alla luce di un polimero. Nel caso di applicazioni esterne la scelta del materiale idoneo richiede pertanto attenta considerazione.

3.4.2.2 Resistenza agli agenti chimici

In media i materiali plastici presentano una buona resistenza all'attacco chimico. Esistono tuttavia sensibili differenze di comportamento da polimero a polimero.

Dati di resistenza a classi di agenti chimici accompagnano sovente i prodotti nei bollettini di informazione tecnica. Questi dati vanno però presi come indicativi in quanto relativi al comportamento del materiale per semplice immersione nell'agente chimico considerato. Sovente, nella pratica il contatto con un agente chimico si accompagna ad una sollecitazione meccanica, oppure possono essere presenti, nell'oggetto, tensioni indotte durante i processi di formatura, che possono indebolire notevolmente la resistenza chimica del materiale.

3.4.3 Stabilità dimensionale

Esiste in proposito, nella letteratura tecnica più specializzata, una notevole ricchezza di informazioni.

In questa sede ci limiteremo a mettere in evidenza che i materiali plastici per le loro caratteristiche termiche generali, presentano in esercizio variazioni dimensionali più

accentuate che non i materiali metallici; di questo fatto si deve tenere particolarmente conto in fase di progettazione degli stampi.

3.5 Caratteristiche principali e potenziale tecnologico dei tecnopolimeri

L'elevata rigidità unita a una buona resistenza all'urto, la resistenza al *creep* e alla fatica, la resistenza chimica, la stabilità dimensionale e la capacità di conservare le proprietà meccaniche in un ampio intervallo di temperature, sono le caratteristiche principalmente richieste ai tecnopolimeri.

La struttura cristallina o amorfa del polimero ha notevole influenza sul suo comportamento in funzione della temperatura: i polimeri amorfi (polifenilenossidi, policarbonati, polisolfoni, polimetilmetacrilato, ABS) presentano una variazione contenuta della rigidità in funzione della temperatura fino al valore della transizione vetrosa (T_g); oltre la T_g essi si deformano, anche se non sono soggetti ad alcun carico. Tuttavia la rigidità dei polimeri cristallini, al di sopra di questa temperatura e fino alla temperatura di fusione della frazione cristallina, conserva ancora un valore sufficiente a evitare la deformazione del pezzo, purché non sottoposto a sforzo.

La fig. 3.3 descrive chiaramente la differenza di comportamento tra un polimero amorfo ed uno parzialmente cristallino, mediante la rappresentazione della variazione dei rispettivi moduli di elasticità in funzione della temperatura.

Valori molto elevati di T_g sono caratteristici di alcuni polimeri amorfi quali il polifenilenossido, i policarbonati, i polisolfoni.

Le caratteristiche dei tecnopolimeri possono essere ulteriormente potenziate mediante il rinforzo con additivazioni particolari. Così ad esempio la rigidità e la resistenza al *creep* possono essere sostanzialmente incrementate tramite il rinforzo con fibre di vetro: si possono raggiungere valori pari a due tre volte la rigidità iniziale. Contemporaneamente aumenta la stabilità dimensionale e diminuisce il coefficiente di dilatazione, mentre peggiorano sensibilmente la lavorabilità e l'aspetto superficiale dei manufatti.

Nel caso dei polimeri cristallini il rinforzo con fibre di vetro consente di raggiungere prestazioni corrispondenti (sotto il profilo della rigidità) a quelle del polifenilenossido e dei policarbonati anche a temperature superiori alla Tg della frazione amorfa.

Un'altra possibilità di modificare vantaggiosamente le caratteristiche dei polimeri è costituita dalla miscela o lega di due diversi tipi: per es. con la lega polifenilenossido-polistirolo antiurto si è raggiunto un buon compromesso fra caratteristiche meccaniche, lavorabilità e costo. Altri esempi interessanti sono: leghe policarbonato/ABS, polisolfone/ABS. Accanto alle proprietà fondamentali possono assumere notevole importanza, caso per caso, alcune caratteristiche particolari o peculiari dei singoli polimeri, come le proprietà elettriche, la resistenza all'abrasione, le proprietà autolubrificanti, l'autoestinguenza, la trasparenza, l'impermeabilità ai gas.

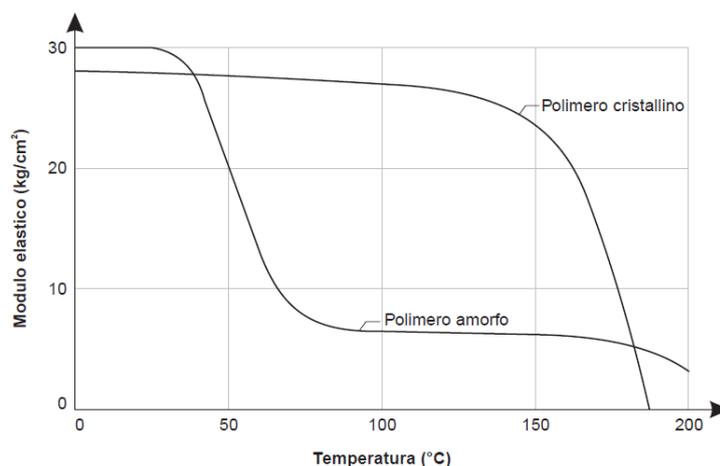


Fig. 3.3 - Comportamento di un polimero amorfo e cristallino in funzione della temperatura.

3.6 Valutazione comparativa del potenziale tecnologico dei tecnopolimeri

Per agevolare il confronto qualitativo fra i diversi tecnopolimeri i valori indice (scala 1 a 10) delle diverse caratteristiche, riportati nei profili dei singoli prodotti, sono rappresentati sotto forma di istogramma nella fig. 3.4.

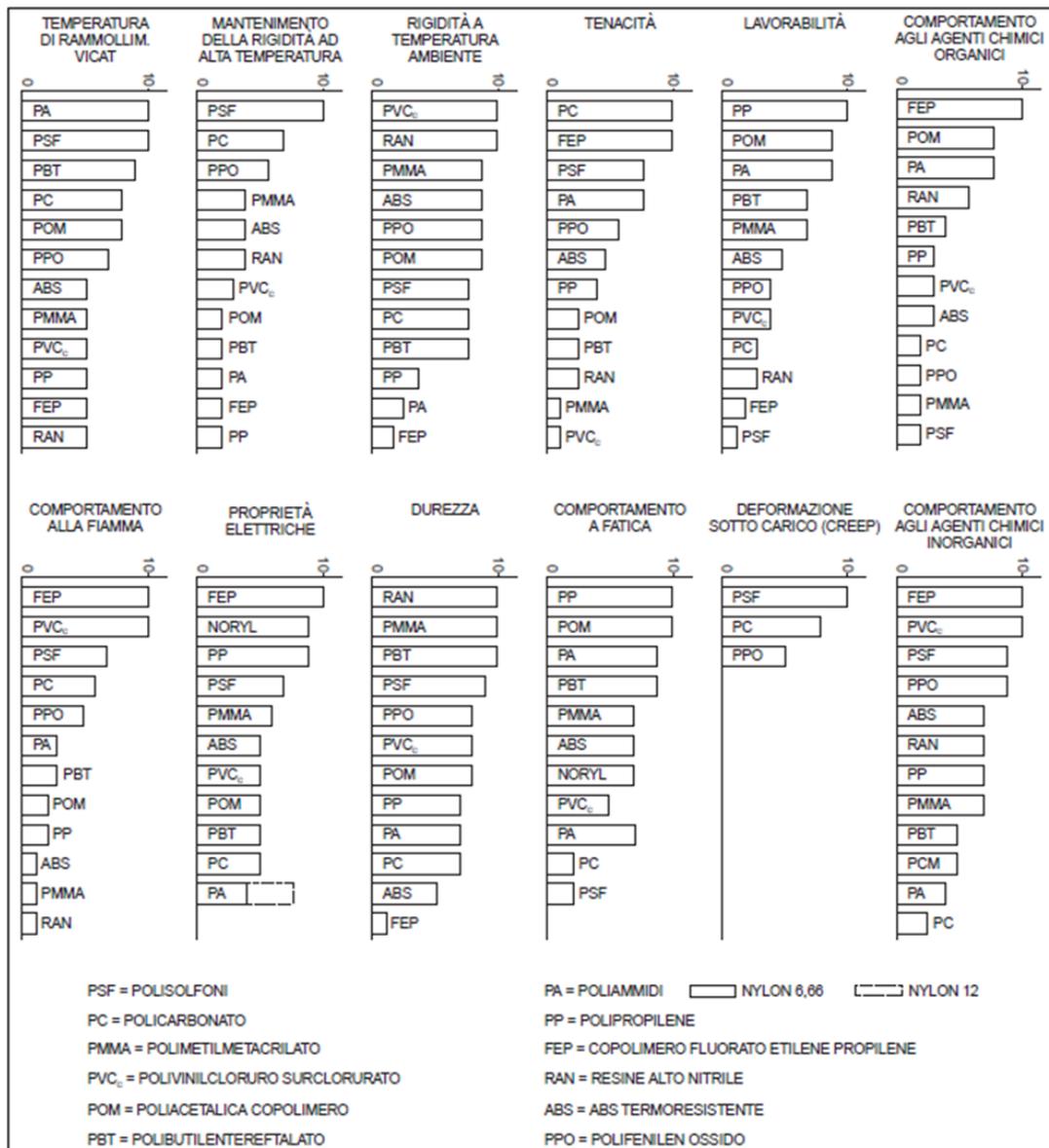


Fig. 3.4 - Istogrammi delle proprietà dei tecnopolimeri.

Si può osservare che nessun prodotto eccelle contemporaneamente in tutte le caratteristiche considerate; la scelta, su questa base, del polimero che presenta le migliori prestazioni qualitative è complessa, ma può essere facilitata suddividendo i polimeri considerati, in funzione di una caratteristica peculiare, in alcune categorie così individuate:

- polimeri resistenti alle sollecitazioni meccaniche anche ad elevata temperatura;
- polimeri a basso coefficiente d'attrito;
- polimeri ad elevate proprietà di isolamento elettrico;

- polimeri ad altissima rigidità ed elevata stabilità dimensionale;
- polimeri trasparenti.

Evidentemente, ogni polimero può far parte di più di una categoria: quello che si classifica fra i migliori nel maggior numero di categorie ha evidentemente le maggiori prospettive di impiego.

Nell'ambito di ogni categoria, i valori indice delle caratteristiche dei prodotti più significativi, sono stati riportati su grafici di tipo circolare che permettono di individuare aree di sovrapposizione o comuni, ed aree indipendenti in modo di affinare la valutazione, a confronto, dei componenti più significativi delle categorie (fig. 3.3, fig. 3.4).

3.6.1 Categoria I: Polimeri resistenti alle sollecitazioni meccaniche anche ad elevata temperatura

Caratteristiche fondamentali di questa categoria sono la rigidità, la tenacità, la stabilità termica. Tutti i polimeri amorfi con elevata Tg fanno parte di questo gruppo; i polimeri cristallini, la cui Tg è notevolmente inferiore a 100°C, possono essere inclusi solo se rinforzati con fibre.

Nella Tabella 3.2 si riportano le temperature massime di applicazione di alcuni tecnopolimeri. Si deve tener presente che fenomeni di degradazione termossidativa pongono, in alcuni casi, un limite alla temperatura massima in esercizio continuato, e che al miglioramento delle proprietà termiche corrisponde, generalmente, una maggior difficoltà di lavorazione.

| | |
|---|-------------|
| ABS termoresistente | 80 ÷ 100 °C |
| Poliacetaliche e polipropilene rinforzati | 80 ÷ 100 °C |
| Polifenilenoossido | 100 ÷ 110°C |
| Poliammidi e poliesteri rinforzati | 100 ÷ 120°C |
| Policarbonati | 120 ÷ 130°C |
| Polisolfoni | 150 ÷ 200°C |

Tab. 3.2 - Temperatura massima di alcuni polimeri.

Dal confronto dei valori riportati nelle fig. 3.5 e fig. 3.6 si rileva che, a parte la resistenza a fatica, i policarbonati e i polisolfoni sono i materiali più qualificati di questa categoria.

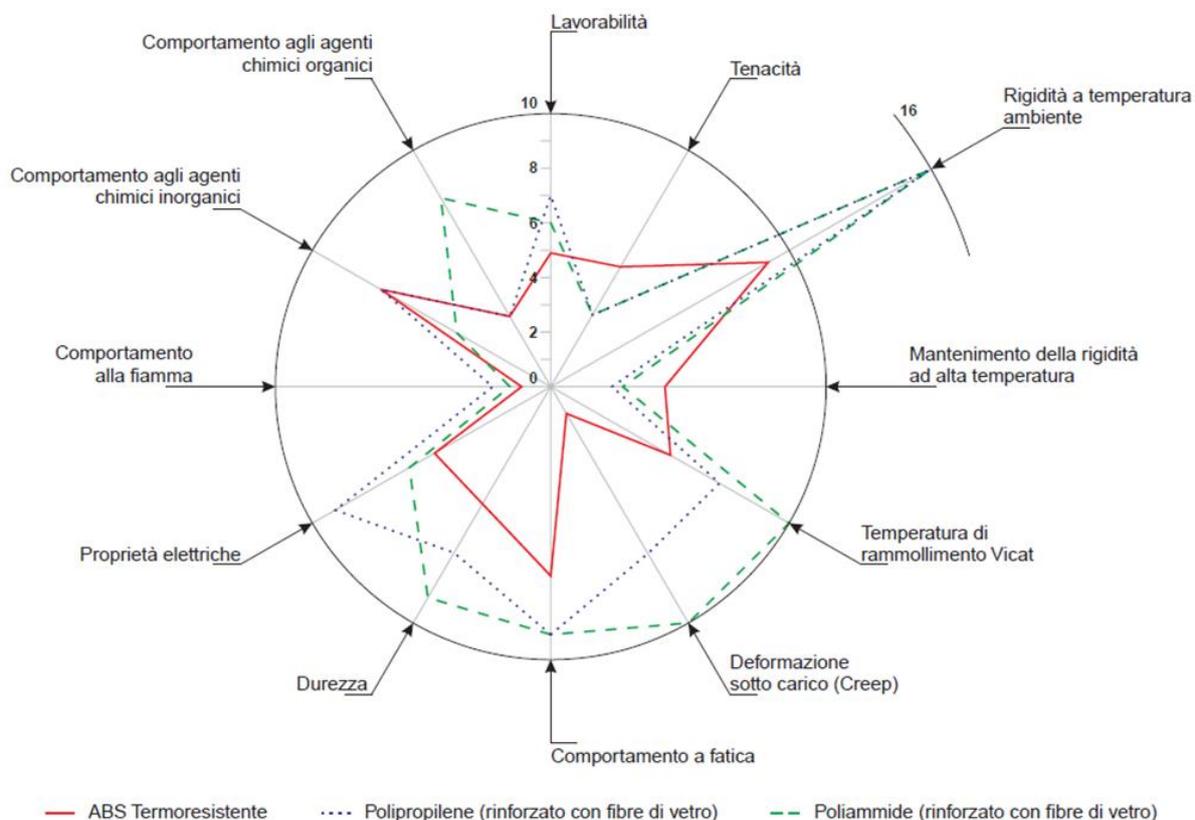


Fig. 3.5 - Polimeri ad elevate proprietà fisico-meccaniche ad alta temperatura.

3.6.2 Categoria II: Polimeri a basso coefficiente di attrito

I polimeri cristallini possiedono generalmente proprietà autolubrificanti (basso coefficiente di attrito) unite in alcuni casi a sufficiente rigidità, resistenza all'usura e stabilità dimensionale; proprietà queste, richieste per la realizzazione di organi in movimento

Essi si classificano, in base al coefficiente di attrito, nell'ordine indicato in Tabella 3.3.

I polimeri fluorurati hanno il più basso coefficiente di attrito, ma per la loro bassa rigidità, non si prestano ad applicazioni strutturali, salvo nel caso in cui il manufatto sia supportato con struttura metallica.

| | |
|------------------------------------|------|
| Polimeri fluorurati | 0.08 |
| Poliacetaliche e poliesteri saturi | 0.15 |
| Polipropilene | 0.23 |
| Poliammidi | 0.28 |

Tab. 3.3 - Polimeri a basso coefficiente di attrito.

Fra le poliammidi, il Nylon 6 presenta l'inconveniente dell'elevato assorbimento di umidità che, tuttavia, non compromette, da un punto di vista applicativo, la rigidità e le caratteristiche dielettriche; il nylon 6.10, 11 e 12 sono migliori sotto questo aspetto, ma già allo stato secco sono più flessibili; il nylon 6.6 ha assorbimento d'acqua inferiore al nylon 6 e rigidità più elevata, ma inferiore tenacità. Il polipropilene ha insufficiente resistenza all'usura e rigidità. Come risulta dal grafico riportato nella fig. 3.6, nell'ambito di questa categoria le poliacetaliche seguite dai poliesteri saturi (polibutilentereftalato) sono i prodotti con il miglior bilancio di caratteristiche.

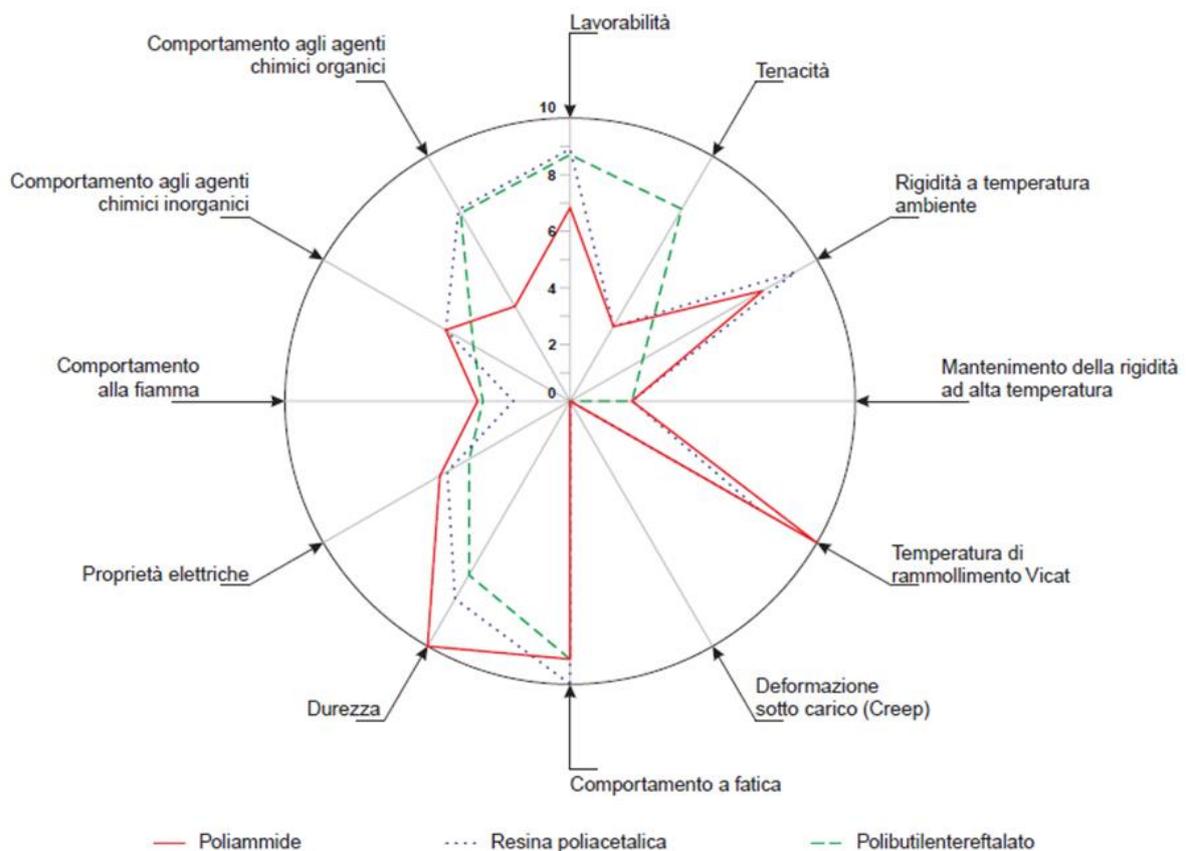


Fig. 3.6 - Polimeri a basso coefficiente di attrito.

3.6.3 Categoria III: Polimeri ad elevate proprietà di isolamento elettrico

Dall'esame degli istogrammi di fig. 3.4, si rileva che i polimeri fluorurati sono quelli che presentano le più elevate proprietà isolanti, tuttavia, per la insufficiente rigidità, essi non possono essere impiegati per manufatti destinati a sopportare un carico. Il miglior compromesso fra proprietà dielettriche, autoestinguenza, rigidità e lavorabilità, come si rileva dal grafico riportato nella fig. 3.4, è quello del PPO cui seguono, nell'ordine: i polisolfoni, il policarbonato e le poliacetaliche. In questa categoria è disponibile il polipropilene il cui limite, la insufficiente rigidità, potrebbe essere superato nel tipo rinforzato con fibre. Sono inoltre disponibili le masse di stampaggio melaminiche che, insieme alle fenoliche (purché caricate con amianto), presentano le più elevate proprietà di isolamento elettrico. Tuttavia questi prodotti sono molto fragili e richiedono cicli di lavorazione onerosi.

3.6.4 Categoria IV: Polimeri ad altissima rigidità ed elevata stabilità dimensionale

Le esigenze di questa categoria vengono soddisfatte dai polimeri rinforzati con fibre di vetro, per i quali il modulo di elasticità può raggiungere valori di $80 \div 100.000 \text{ Kg/cm}^2$.

Nel caso dei polimeri amorfi rinforzati (polifenilenossidi, policarbonati, polisolfoni), il modulo si mantiene elevato fino a temperature notevolmente superiori a quelle dei polimeri cristallini.

3.6.5 Categoria V: Polimeri trasparenti

La trasparenza e la sua conservazione nel tempo sotto l'azione degli agenti atmosferici, sono le proprietà fondamentali di questa categoria.

Sotto questo aspetto il polimetalmetacrilato ha il miglior comportamento: il suo inconveniente principale è però l'insufficiente tenacità cui si unisce una limitata temperatura massima di impiego (80 ÷ 100°C).

Il policarbonato unisce, a una buona trasparenza e a un invecchiamento contenuto, una tenacità eccezionale e un'elevata temperatura massima d'impiego. La sua discreta resistenza alla fiamma è importante nelle applicazioni edilizie e dei trasporti.

La principale deficienza è la scarsa resistenza chimica. I polisolfoni, pur essendo trasparenti, hanno una colorazione fumè che limita le loro applicazioni ottiche.

Hanno una elevata resistenza alla fiamma e una resistenza chimica leggermente superiore a quella dei policarbonati.

Altra caratteristica interessante per i polimeri trasparenti è l'impermeabilità ai gas che può consentire la loro sostituzione al vetro o ai metalli nel settore dei contenitori.

3.7 La scelta del materiale

Il materiale più idoneo da individuare deve avere quindi le seguenti caratteristiche:

1. Materiale termoplastico stampabile su una delle presse ad iniezione già in dotazione alla fabbrica.
2. Colore nero, non troppo lucido, in modo da richiamare l'estetica delle griglie in ghisa.
3. Elevate prestazioni meccaniche in modo da poter ottenere, per la griglia di larghezza 130 mm, la classe di carico C250 secondo la norma EN1433 senza dover ricorrere ad una struttura troppo ingombrante.
4. Elevata resistenza agli agenti atmosferici.
5. Buona stabilità dimensionale.
6. Costo contenuto.

Tenuto conto delle sopraelencate caratteristiche, la scelta si è subito indirizzata sulla poliammide nera caricata con fibra di vetro.

La serie di griglie in poliammide grigia prodotta per molti anni dalla First stessa è una prima garanzia che tale materiale sia sufficientemente resistente in ambiente esterno per lungo tempo: la carica con fibra di vetro conferisce a queste griglie un'elevata resistenza meccanica. Nella famiglia delle poliammidi si può optare per un nylon 66, opportunamente caricato con fibra di vetro, che ha un'ottima stabilità dimensionale, unitamente ad elevata resistenza meccanica. Il nylon 6 possiede una minore stabilità dimensionale essendo più igroscopico ma permette di avere, a parità di resistenza meccanica, una migliore stampabilità. Avendo una tolleranza dimensionale della griglia piuttosto ampia, per questa applicazione si può optare per il nylon 6 caricato con fibra vetro, materiale prodotto e distribuito da diverse marche. Per avere un'idea del comportamento di tali materiali sono state effettuate prove di stampaggio con alcuni materiali campione, utilizzando uno stampo di una griglia 500×130 mm generalmente stampata in PVC.

I materiali provati sono i seguenti:

1. PVC
2. PA66 caricato 30% FV industriale
3. PA66 caricato 30% FV prima scelta
4. SAN caricato fibra vetro 20%
5. PA6 caricato 30% FV prima scelta
6. PA6 caricato 50% FV prima scelta

Di ciascun materiale sono stati stampati alcuni campioni di griglia in modo da poter effettuare su di esse le prove di carico.

La griglia che ha fornito le migliori prestazioni in termini di carico di rottura secondo norma UNI EN 1433 è quella stampata con il materiale n° 6.

Per contro la n° 5 è quella che ha fornito il miglior risultato tenendo conto anche dell'aspetto estetico finale.

La n° 2 ha fornito una resistenza meccanica inferiore sia alla 5 che alla 6 mentre la 3 non è risultata praticamente stampabile (questo naturalmente dipende dal tipo e dalle dotazioni della pressa e dello stampo utilizzati per queste prove comparative).

Si è volutamente escluso di usare il materiale caricato al 50% per la minore resa estetica ma anche in considerazione dell'eccessiva rigidità e del basso allungamento a rottura che lo rende meno consigliabile per questo tipo di applicazione rispetto a quello caricato al 30%.

I dati tecnici del PA6 30% FV sono quindi stati usati per la simulazione del comportamento al carico della nuova griglia.

In fig. 3.8 vengono riportate le principali caratteristiche del materiale fornite dal produttore nella scheda tecnica.

| Properties | Standards | Unit | Values | |
|---|------------------|-------------------|----------|----------|
| | | | d.a.m*. | Cond.** |
| Physical | | | | |
| Water absorption (24 h at 23°C) | ISO 62 | % | 0.95 | - |
| Density | ISO 1183-A | g/cm ³ | 1.34 | - |
| Mechanical | | | | |
| Tensile modulus | ISO 527 type 1 A | MPa | 9600 | 6200 |
| Tensile strain at break | ISO 527 type 1 A | % | 3.30 | 5.5 |
| Tensile strength at break | ISO 527 type 1 A | MPa | 180 | 110 |
| Flexural modulus | ISO 178 | MPa | 9300 | 5200 |
| Flexural maximum stress | ISO 178 | MPa | 255 | - |
| Charpy notched impact strength | ISO 179/1eA | kJ/m ² | 14.10 | 10 |
| Charpy notched impact strength (-30°C) | ISO 179/1eA | kJ/m ² | 50 | - |
| Charpy unnotched impact strength | ISO 179/1eU | kJ/m ² | 81 | 90 |
| Izod notched impact strength | ISO 180/1A | kJ/m ² | 12 | 21 |
| Izod unnotched impact strength | ISO 180/1U | kJ/m ² | 82 | 65 |
| Flamability | | | | |
| Flammability UL 94 (Thickness 1,6 mm) | ISO 1210/UL 94 | | HB | - |
| Flammability UL 94 (Thickness 3,2 mm) | ISO 1210/UL 94 | | HB | - |
| Glow wire flammability index (thickness = 1,6) | IEC 60695-2-12 | °C | 650 | - |
| Limit Oxygen index | ISO 4589 | | 22 | - |
| Thermal | | | | |
| Melting Temperature | ISO 11357 | °C | 222 | - |
| Heat deflection temperature, 1,8 Mpa | ISO 75/Af | °C | 204 | - |
| Coef. of Linear thermal expansion parallel (23°C to 85°C) | ISO 11359 | E-5 / °C | 3.20 | - |
| Electrical | | | | |
| Relative permittivity | IEC 60250 | | 3.80 | 4.5 |
| Dissipation factor | IEC 60250 | | 0.02 | 0.09 |
| Volume resistivity | IEC 60093 | E14.Ohm.cm | 10 | 0.001000 |
| Surface resistivity | IEC 60093 | E14.Ohm | 0.100000 | 0.001000 |
| Dielectric strength | IEC 60243 | kV/mm | - | 22 |
| Comparative tracking index sol. A | IEC 60112 | Volt | 550 | 475 |
| Specific | | | | |
| Inj. Pressure vs standard PA | Rhodia | % | -42 | - |
| Spiral length vs standard PA | Rhodia | % | 220 | - |

Fig. 3.7 - Valori delle caratteristiche del materiale fornite nella scheda tecnica.

4. STAMPAGGIO AD INIEZIONE

Il materiale scelto deve essere lavorato mediante il processo di stampaggio ad iniezione. Lo stampaggio a iniezione è un processo di produzione industriale in cui un materiale plastico viene fuso (plastificato) e iniettato ad elevata pressione all'interno di uno stampo chiuso, che viene aperto dopo il raffreddamento del manufatto. Generalmente l'iniezione avviene a pressioni e a temperature abbastanza elevate da consentire lo scorrimento del materiale “plastificato” all'interno del macchinario.

4.1 Pressa tradizionale

Le presse per lo stampaggio ad iniezione dei materiali termoplastici derivano dalle macchine per lo stampaggio o per la pressofusione dei metalli.

La prima macchina venne costruita in Germania nel 1920.

In Italia, le prime presse ad iniezione, di produzione nazionale, apparvero alla vigilia della seconda guerra mondiale. Da quel tempo i progressi sono stati rapidi. Oggi si dispone di macchine completamente automatiche che non richiedono alcun intervento da parte

dell'operatore, dal caricamento del materiale termoplastico nelle tramogge all'estrazione dei pezzi stampati. Lo stesso rapido e sorprendente progresso si è parallelamente registrato nella costruzione degli stampi. Oggi si trovano sul mercato macchine con capacità di iniezione da pochi grammi fino a 150 Kg e con forza di chiusura da 20kN fino a 100.000kN (da 2 a 10.000 t). Esaminiamo ora la pressa ad iniezione dal punto di vista sia costruttivo sia funzionale.

Le presse ad iniezione per lo stampaggio delle materie plastiche sono le macchine più diffuse per le trasformazioni dei plastici. Si possono ottenere articoli di dimensioni micrometriche, fino al pezzo di ragguardevoli dimensioni come può essere il paraurti di un'automobile.

La fig. 4.1 mostra una pressa composta da quattro parti:

1. gruppo iniezione;
2. gruppo di chiusura;
3. impianto oleodinamico, detto anche idraulico;
4. impianto elettrico.



Fig. 4.1 - Vista d'assieme di una pressa ad iniezione.

Il gruppo iniezione è costituito da un cilindro, riscaldato esternamente per mezzo di resistenze elettriche, contenenti una vite di plastificazione. La vite di plastificazione mediante rotazione trasporta e plastifica il materiale nella parte anteriore del cilindro e traslando assialmente trasferisce il materiale, ormai allo stato fuso, dal cilindro all'interno dello stampo. Quando il

materiale ha riempito lo stampo viene lasciato raffreddare così da assumere la conformazione della figura dello stampo stesso. La vite effettua la traslazione, che induce l'iniezione, per mezzo di un cilindro oleodinamico e la rotazione, che provoca la plastificazione, per mezzo di un motore oleodinamico od elettrico. Il gruppo di chiusura ha la funzione di bloccare lo stampo durante l'iniezione e di aprire le due metà stampo quando il pezzo si è raffreddato. Questi due gruppi sono disposti su un basamento contenente il serbatoio dell'impianto oleodinamico e l'impianto elettrico.

Schematicamente il ciclo di stampaggio può essere così descritto:

- chiusura delle metà stampo;
- iniezione del materiale fuso;
- rotazione vite per la carica del materiale nel cilindro (plastificazione);
- pausa di raffreddamento del pezzo iniettato;
- apertura dello stampo;
- estrazione del pezzo;
- riinizio del ciclo.

La durata del ciclo di stampaggio varia, in funzione del tipo di materiale e della configurazione del pezzo da stampare, da un secondo (per le presse più veloci che stampano pezzi il cui peso è di pochi grammi) fino a qualche minuto (per le presse che stampano pezzi aventi peso pari a due o più chilogrammi). Tutti i movimenti della pressa sono ottenuti per mezzo di un circuito oleodinamico e la sequenza di funzionamento della pressa è controllata attraverso un comando elettronico.

Lo stampo e la pressa sono due unità complementari, che possono essere utilizzate solo se unite.

Non va sottovalutata l'importanza e la complessità dello stampo, che in alcuni casi può giungere ad essere una vera e propria macchina all'interno della pressa.

Il gruppo di chiusura consente di:

1. aprire e chiudere le due metà stampo il più rapidamente possibile, pur conservando una velocità di contatto tra i piani molto bassa;

2. sviluppare la forza di chiusura della pressa, così da reagire alla spinta del materiale durante l'iniezione.

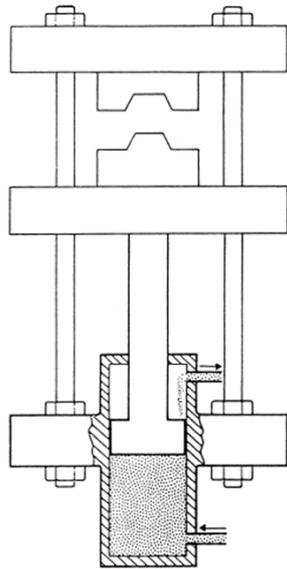


Fig. 4.2 - Sistema di chiusura a pistone.

Esso è costituito da due piastre collegate fra loro per mezzo di colonne, piastra di reazione o fissa e piastra di testata. In mezzo a queste due c'è una terza piastra, detta piano mobile, scorrevole avanti e indietro su colonne (fig. 4.2). Il piano mobile deve essere accuratamente guidato, onde evitare che le metà stampo si chiudano non perfettamente parallele.

4.2 Sistema di chiusura

Tutti i sistemi di chiusura possono essere globalmente suddivisi in sistemi idraulici, meccanici e misti. Il tipo di suddivisione si riferisce principalmente a come la forza di chiusura è mantenuta, in quanto tutti i sistemi, tranne in alcuni casi particolari, sono azionati oleodinamicamente.

4.2.1 Chiusura Idraulica

Il metodo più semplice per muovere la piastra mobile è di interporre un martinetto tra la piastra stessa e la testata (presse di modeste dimensioni). Con macchine di misura medio/grande si è introdotto un cilindro coassiale più piccolo, per i movimenti di traslazione, che trascina un pistone di diametro maggiore utilizzato per il bloccaggio (fig. 4.3).

Questo tipo di chiusura ha avuto una vasta utilizzazione nel decennio 1950÷60.

Attualmente in Europa è usato solo da pochi costruttori, mentre negli Stati Uniti viene ancora adottato specialmente nelle “macchine grosse”.

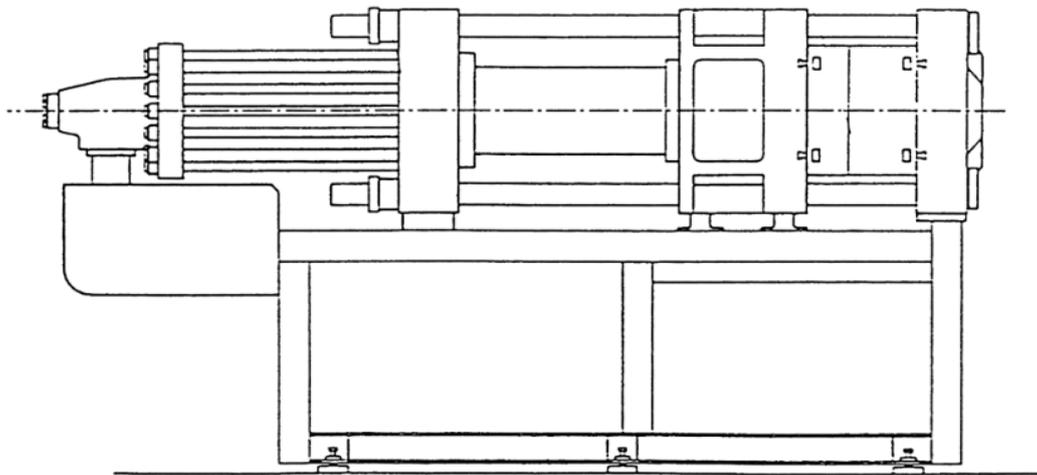


Fig. 4.3 - Chiusura idraulica con cilindro coassiale.

4.2.2 Chiusura a Ginocchiera Semplice

Tale sistema sfrutta il principio dell'irreversibilità dell'arco a tre cerniere allineate. È infatti noto che quando si hanno due bielle con i tre occhi allineati sottoposte a carico assiale non è necessaria alcuna forza per mantenerle in tale posizione, in quanto non si genera alcun momento che la possa far ruotare. La realizzazione di tale principio può essere vista nella chiusura a ginocchiera semplice. Questa è costituita da due leve collegate fra loro e con le piastre per mezzo di spinotti e da un martinetto agente sullo spinotto centrale.

4.2.3 Chiusura a Ginocchiera Doppia

Evoluzione della ginocchiera semplice è la ginocchiera doppia, visibile in fig. 4.4, ottenuta accoppiando due ginocchiere semplici.

In tale sistema si è aggiunto un testa croce, che per mezzo delle leve di spinta provoca la rotazione delle bielle corte e il movimento delle bielle lunghe. Ciò comporta numerosi vantaggi: è sufficiente un cilindro d'azionamento più piccolo in quanto le forze verticali si elidono mutuamente, si ha un minor consumo energetico, si possono ottenere corse maggiori, la forza è applicata più uniformemente al piano mobile.

Le ginocchiere doppie possono assumere due configurazioni di base chiamate: ginocchiera a quattro punti e ginocchiera a cinque punti.

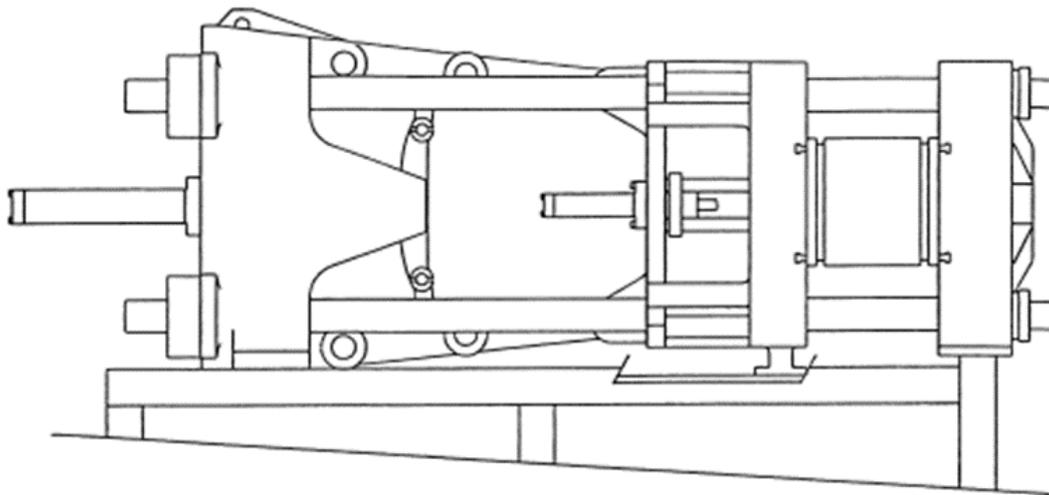


Fig. 4.4 - Chiusura a ginocchiera doppia

4.2.4 Confronto Ginocchiera — Pistone

Sul mercato europeo sono presenti principalmente sistemi a ginocchiera. Le ragioni che hanno portato e portano tuttora a tale scelta sono:

- Come la forza di chiusura è applicata:

Nei sistemi a pistone è distribuita nella zona centrale del piano mobile, opponendosi così alle deformazioni di tale piano.

Nelle ginocchiere semplici, si ha l'applicazione della forza sempre nella zona centrale, ma su un'area più piccola. In quelle doppie la spinta agisce agli estremi del piano mobile su aree non molto estese.

- Come viene variato lo spessore stampo:

Nei sistemi a ginocchiera esso è regolato cambiando la distanza tra piano fisso e testata, normalmente mediante traslazione di quest'ultima.

Vengono fatti ruotare i dadi sulle colonne, dal lato della testata, provocando così la traslazione della stessa. Tale traslazione è piuttosto lenta e può richiedere qualche minuto di tempo per essere effettuata completamente.

Nei sistemi a pistone è invece ottenuta semplicemente variando il punto d'arresto del piano mobile, determinato dallo spessore dello stampo.

Si ricorda che nei sistemi a pistone la forza di chiusura resta costante al variare delle temperature solo se la pressione è accuratamente controllata in anello chiuso.

Nei sistemi a ginocchiera la dilatazione dei metalli, in funzione delle variazioni termiche, provoca variazioni della forza di chiusura.

A tale scopo sulle presse a ginocchiera più moderne vengono adottati dei sistemi di autoregolazione della forza di chiusura per mantenerla costante in ogni condizione.

Gli argomenti che però fanno preferire la chiusura a ginocchiera sono: consumo energetico, irreversibilità della chiusura, dolcezza e rapidità di funzionamento.

Nel sistema a pistone sono in gioco quantità di olio superiori, che richiedono l'impiego di componenti oleodinamici più grossi e masse metalliche maggiori rispetto ai sistemi a ginocchiera che comportano velocità minori.

Notevole è inoltre il vantaggio derivante dalla irreversibilità della chiusura a ginocchiera.

Finita la fase di bloccaggio, i sistemi a ginocchiera possono restare in tale condizione per un tempo infinito, per quanto precedentemente ricordato riguardo l'arco a tre cerniere allineate.

Nei sistemi a pistone, eventuali perdite d'olio possono richiedere il continuo ripristino della pressione presente nel cilindro, per mantenere la forza di chiusura costante.

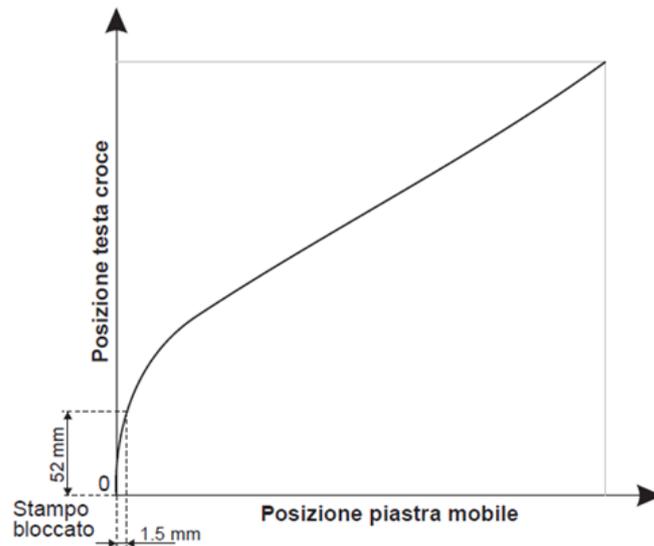


Fig. 4.5 - Posizioni relative della piastra mobile e del testa croce.

Per comprendere la maggior dolcezza di funzionamento della ginocchiera è sufficiente dare uno sguardo alla cinematica del sistema.

Il rapporto tra la corsa della piastra mobile e del testa croce non è lineare, come si può vedere in fig. 4.5, ma si nota che durante l'avvicinamento dei piani la velocità della piastra mobile diminuisce, mentre non varia quella del testa croce.

Ciò è dovuto al fatto che, alla fine della corsa, le bielle si pongono in una posizione nella quale, a parità di rotazione, si ha una minore traslazione del piano mobile.

Grazie alla sua geometria, la ginocchiera fornisce un naturale rallentamento finale, particolarmente vantaggioso per evitare che le metà stampo si urtino violentemente.

Ciò non è riscontrabile nei sistemi a pistone ed idrobloccanti dove, durante la fase di contatto tra le metà stampo, si devono rallentare ingenti masse unicamente per via idraulica.

Un ulteriore vantaggio derivante dalla non linearità tra corsa della piastra mobile e del testa croce, è una maggior efficacia del dispositivo salvastampo. Questo ha la funzione di impedire che venga completata la fase di bloccaggio nel caso restasse intrappolato qualche corpo estraneo tra le metà stampo.

Nei sistemi a ginocchiera, come già menzionato, quando i piani si stanno per toccare, a pochi millimetri di spostamento della piastra mobile, corrispondono molti millimetri di spostamento del testa croce ben superiore e pertanto facilmente individuabile con qualsiasi finecorsa. Il dispositivo salvastampo risulta così più efficace che sulle presse a chiusura idraulica.

Oltre questi sistemi, molti altri ne sono stati sviluppati con chiusure miste, ottenuti combinando ginocchiera-pistone.

4.2.5 Misura della forza di chiusura

La forza di chiusura di una pressa a ginocchiera può essere misurata rilevando l'allungamento delle colonne al momento della chiusura dello stampo. Infatti tutti i sistemi di chiusura degli stampi (a ginocchiera o a pistone), quando agisce la forza che chiude lo stampo, provocano un allungamento delle colonne della pressa.

Tenendo conto di questa proporzionalità e misurato con sufficiente precisione l'allungamento delle colonne, dell'ordine di alcuni decimi di millimetro, si può ricavare l'entità della forza agente dalla relazione dove:

$$F = \frac{(n \cdot E \cdot A \cdot \Delta L)}{L}$$

- F: è la forza di chiusura (kN);
- E: il modulo di elasticità dell'acciaio (210 kN/mm²);
- A: l'area della sezione di una colonna (mm²);
- ΔL : l'allungamento medio rilevato sulle colonne (mm);
- L: la lunghezza della base di misura (mm);
- n: il numero di colonne della pressa (generalmente 4).

La misura dell'allungamento deve essere ripetuta su tutte le colonne, ed il valore medio degli allungamenti rilevati va introdotto nella relazione citata. Negli ultimi anni, a questo metodo meccanico se ne è aggiunto uno basato sull'impiego di estensimetri elettrici.

Un sistema di sicurezza va in allarme se uno dei valori di allungamento rilevati non è compreso nei limiti prestabiliti.

4.3 Estrazione

Diversi sono i metodi per effettuare la estrazione del pezzo dallo stampo quando si è solidificato.

4.3.1 Estrattore meccanico ed oleodinamico

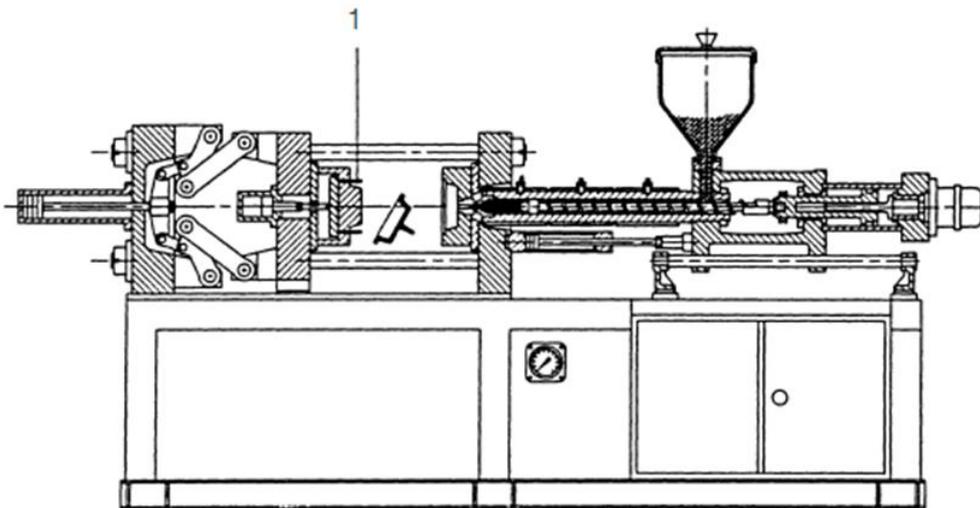


Fig. 4.6 - Estrattore meccanico.

Un puntone fissato alla piastra d'estrazione (1 in fig. 2.6), durante l'arretramento della piastra mobile, spinge provocando la fuoriuscita di spine e la conseguente caduta del pezzo.

La metodologia descritta è in qualche macchina sostituita dall'estrazione idraulica. In questo caso la spinta per far uscire a rientrare le spine d'estrazione è generata da un cilindro oleodinamico.

4.3.2 Soffiaggio

Per provocare la caduta dei pezzi si può anche utilizzare un secondo metodo, detto soffiaggio, consistente nell'invio di un getto di aria compressa tra il pezzo stampato e la superficie dello stampo, così da staccarlo dallo stampo stesso. Tale metodo può rendersi necessario con pezzi delicati, che potrebbero danneggiarsi se estratti meccanicamente o idraulicamente.

4.3.3 Estrazione radiale con martinetti

Nel caso di pezzi complicati, con sottosquadri o anime interne, è necessario muovere dei tasselli per liberare il pezzo dai sottosquadri.

Ciò è effettuabile, sia meccanicamente, per mezzo di opportune guide nello stampo, sia mediante martinetti oleodinamici.

Tale sistema è usualmente identificato come estrazione radiale.

4.3.4 Estrazione a svitamento

Da ultimo, vogliamo ricordare l'estrazione a svitamento che si rende necessaria per liberare i pezzi quando presentano delle filettature.

Lo svitamento può avvenire meccanicamente, vincolando alla piastra fissa una vite coassiale con un dado fissato alla piastra mobile. Durante l'arretramento della piastra mobile tale dado ruota.

Il moto rotatorio viene trasmesso, per mezzo d'ingranaggi, a tutti i pezzi da svitare, che possono così svincolarsi dallo stampo. La rotazione può essere comandata anche da un motore sia elettrico sia idraulico o da un martinetto.

4.4 Gruppo iniezione

Il gruppo iniezione è la parte della pressa che consente di portare il materiale allo stato fuso, dosarne la quantità necessaria ad ogni ciclo e trasferirlo nello stampo.

4.4.1 Gruppo iniezione a vite punzonante

Il gruppo iniezione, grazie all'introduzione della vite punzonante, ha il vantaggio di fornire una migliore plastificazione ed un dosaggio più preciso. Tutti i gruppi iniezione, sia a punzone sia a vite, non sono vincolati permanentemente al basamento della pressa, ma sono scorrevoli su pattino o su colonne, per poter traslare avanti e indietro, onde staccare l'ugello dallo stampo. Un esempio di gruppo iniezione a vite punzonante è mostrato in fig. 4.7. Il cilindro di plastificazione è avvolto da resistenze elettriche che, riscaldandolo, provocano la fusione del materiale plastico.

Va però ricordato che il calore per la fusione del materiale proviene in parte dalle resistenze ed in parte si genera per l'attrito che si crea tra la vite ed il materiale durante la rotazione.

Va notato, pertanto, che la temperatura rilevata non è quella del materiale plastico, ma quella del cilindro.

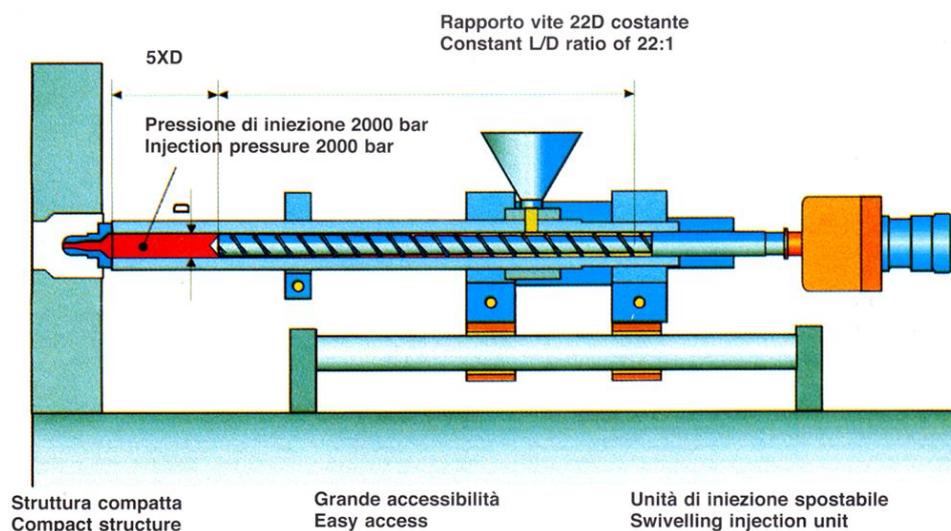


Fig. 4.7 - Gruppo iniezione del tipo a vite punzonante.

4.4.2 Ugelli

In testa al cilindro, trova posto l'ugello forato assialmente per permettere il passaggio del materiale fuso nello stampo.

È importante che il foro dello stampo sia di diametro superiore a quello dell'ugello per consentire, nel caso di pezzi con materozza, una facile estrazione.

L'ugello può assumere diverse forme, a seconda dell'impiego al quale è destinato. Tutti i tipi di ugello possono essere genericamente divisi in: ugelli liberi e ugelli a valvola.

Tra gli ugelli liberi possiamo ricordare quello d'impiego generale, utilizzato con il gruppo iniezione sempre accostato allo stampo.

Interessante è l'ugello per le resine acetaliche, caratterizzato da un foro molto lungo e sottile. Quando il materiale rimane in tale foro si raffredda leggermente così che, aumentando la densità dello stesso, non può fuoriuscire. Il materiale raffreddato funziona così da valvola naturale.

Tale ugello non può, per esempio, essere impiegato stampando del metacrilato, per l'elevata densità di quest'ultimo.

Notevole è anche l'ugello libero per risucchio. Il risucchio come vedremo più avanti è una fase del ciclo di funzionamento durante la quale la vite viene arretrata, per mezzo del pistone iniezione, così da annullare la pressione esistente nella camera d'iniezione, onde evitare la fuoriuscita del materiale dall'ugello.

La forma e le dimensioni di tale camera si ricavano sperimentalmente.

Niente vieta di effettuare il risucchio anche con l'ugello libero convenzionale. Gli ugelli a valvola sono tutti quelli che, terminata la fase d'iniezione, si chiudono per impedire l'uscita del materiale dal cilindro. Il tipo più semplice è l'ugello a valvola meccanica.

Il movimento di chiusura del pistoncino è generato dalla pressione del materiale, mentre l'apertura dall'accostamento dell'ugello allo stampo. Per questo è utilizzabile quando il ciclo di funzionamento comprende la traslazione del gruppo iniezione.

L'ugello a spillo è normalmente impiegato per lo stampaggio di poliammidi. Il cursore interno è azionato da molle esterne, per la sua chiusura, e dalla pressione d'iniezione sul materiale per l'apertura.

4.4.3 Valvola-Ogiva

All'interno del cilindro trova posto la vite di plastificazione con in testa l'ogiva e la valvola. Scopo della valvola è di consentire o impedire il flusso del materiale, spostandosi avanti od indietro.

Il materiale può così fluire davanti all'ogiva ed accumularsi per la successiva iniezione.

4.4.4 Vite di plastificazione

A seconda del materiale da stampare, il gruppo di iniezione deve essere equipaggiato con una vite specifica. La fig. 4.8 ne illustra alcuni tipi.

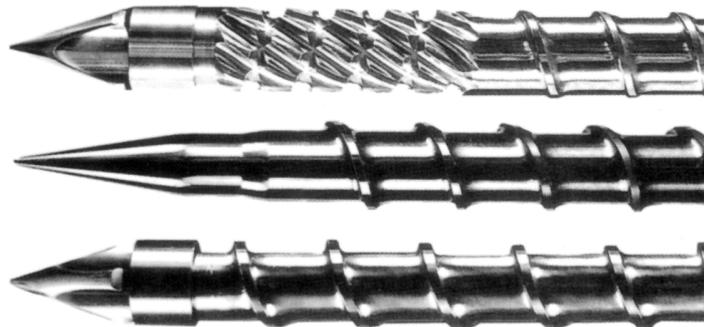


Fig. 4.8 - Tipi di vite di plastificazione.

In fig. 4.9 è raffigurata una vite per impiego universale:

- è costituita da una prima zona (c), a sezione di nocciolo costante, per il carica-mento dal materiale, detta zona d'alimentazione;
- una seconda (b), con sezione a nocciolo crescente, per consentire di recuperare lo spazio dovuto al passaggio di stato del materiale, detta zona di compressione;
- una terza (a) di omogeneizzazione del materiale fuso, a sezione costante, detta zona di laminazione.

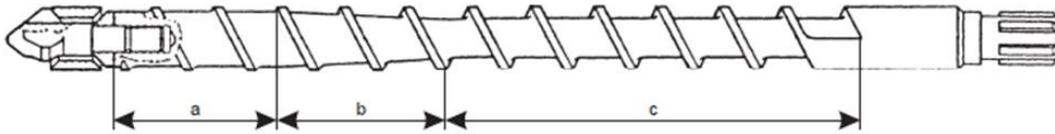


Fig. 4.9 - Vite per impiego universale.

La lunghezza di queste zone, l'area di passaggio del materiale ed il rapporto di compressione tra la zona posteriore ed anteriore, sono generalmente funzione del tipo di materiale impiegato.

Il valore del passo della vite di solito non si discosta molto da quello del diametro esterno della vite stessa.

4.4.5 Degasaggio

Uno dei problemi di quasi tutti i materiali termoplastici, è la loro igroscopicità. Per questo, alcuni di essi devono essere essiccati prima di essere immessi nella tramoggia, onde evitare antiestetiche striature biancastre sui pezzi stampati. Una possibile alternativa a tale metodo è quella di utilizzare il cilindro per degasaggio, che presenta una bocca a circa metà lunghezza. La vite è dotata di un profilo particolare così funzionante: il materiale viene portato allo stato fuso prima di una zona in cui la vite subisce una brusca riduzione di sezione, in prossimità della bocca di degasaggio.

All'inizio della zona successiva il materiale, espandendosi, può liberare l'umidità in esso contenuta, che può uscire dalla bocca sotto vuoto.

Il materiale subisce quindi un'ulteriore omogeneizzazione nelle sezioni successive venendo definitivamente preparato per essere iniettato nello stampo. Il cilindro per degasaggio elimina la fase di preessiccamento ed inoltre fornisce una deumidificazione completa su tutto il materiale, in quanto se il preessiccamento non fosse effettuato per un tempo sufficientemente lungo, nel cuore del granulo il materiale potrebbe conservare parte dell'umidità. Un impiego interessante del cilindro per degasaggio è quello di utilizzarlo in combinazione con un parziale preessiccamento del materiale. In tal modo si riduce il lavoro fatto svolgere al cilindro, con

beneficio per il tempo di plastificazione, in quanto più elevata è la percentuale di umidità presente nel materiale più si allunga il tempo di plastificazione.

4.4.6 Configurazione del gruppo iniezione

La vite di plastificazione, cuore della pressa, è mossa da un motore e da un cilindro idraulici.

Il motore può essere collegato alla vite tramite un riduttore ad ingranaggi o direttamente.

Nel primo caso si utilizzano motori sia elettrici sia oleodinamici, nel secondo sono esclusivamente impiegati motori oleodinamici.

I motori elettrici hanno una coppia di spunto molto superiore a quella nominale, cosicché la vite potrebbe essere danneggiata se fatta ruotare nel cilindro con materiale plastico non a temperatura adeguata.

I motori oleodinamici hanno, invece, una coppia di spunto quasi pari a quella nominale.

4.4.7 Alimentazione e trasporto

L'alimentazione di una pressa è uno degli aspetti primari, anche se spesso sottovalutato, della trasformazione delle materie plastiche. Alcune macchine dispongono di sistemi di alimentazione forzata per la maggior parte di esse sono dotate di alimentazione per caduta, da tramoggia. Un prodotto scorrevole, che defluisca regolarmente dalla tramoggia, non crei ponti od altre complicazioni, ha i requisiti necessari per assicurare l'alimentazione della vite per gravità. È nel primo stadio della vite, quello sottostante la tramoggia e prolungantesi da essa, che si decide il buon funzionamento della alimentazione.

Le condizioni teoriche ideali di alimentazione e portata prevedono un attrito nullo tra prodotto e vite ed infinito fra prodotto e cilindro. Tali condizioni non hanno riscontro in pratica ed è di norma sufficiente che il coefficiente di attrito tra prodotto e cilindro sia molte volte superiore a quello fra prodotto e vite. Ciò dà a ciascuna gola una buona costante capacità di spinta e portata, assicurando così il completo riempimento sotto pressione di tutte le gole della vite fra tramoggia e testa.

La conoscenza dell'andamento del coefficiente di attrito in funzione della temperatura permette, agendo sulle condizioni operative, di ottimizzare le condizioni di caricamento. Anche l'adozione di rifiniture superficiali spinte (sulla vite) e di rifiniture più grezze (sul cilindro) contribuisce a creare un gradiente di attrito fra cilindro e vite sufficiente ad assicurare un'alimentazione costante.

4.5 Impianti ausiliari

4.5.1 Essiccazione delle materie termoplastiche

Tutte le materie termoplastiche hanno tendenza a trattenere acqua, sia per aderenza superficiale sia per assorbimento. Esse si distinguono principalmente in:

- materiali non igroscopici (resine acetaliche, polietilene, polipropilene, polistirolo, PVC, ecc.);
- materiali igroscopici (ABS, butirrati di cellulosa, metacrilati, SAN, ASA, policarbonati, resine poliammidiche, ecc.).

L'immagazzinaggio delle materie plastiche in un locale non riscaldato, durante la stagione fredda, e il successivo trasporto nella stamperia riscaldata, determina la formazione di condensa; perciò è sempre consigliabile trasportare il materiale dal magazzino alla stamperia un giorno prima ed aprire i sacchi solo poco tempo prima dell'utilizzazione.

L'acqua trattenuta superficialmente dai materiali può essere facilmente eliminata preriscaldando il materiale stesso in una tramoggia, per esempio ad aria calda forzata.

Il materiale preriscaldato, mantenuto ad una temperatura prestabilita, inoltre, favorisce notevolmente la capacità di plastificazione e la ripetibilità delle temperature scelte sul cilindro di plastificazione.

In alcuni casi limite, l'applicazione di una tramoggia riscaldante ad una temperatura, per esempio di 90°C, può risolvere una carenza di capacità di plastificazione.

Nel caso di materiali igroscopici la quantità di acqua che tali materiali hanno tendenza ad assorbire è notevole e può raggiungere percentuali tali da pregiudicare la loro trasformazione e/o la qualità del prodotto finito.

Ne deriva la necessità di portare l'umidità, per ogni tipo di materiale, a valori prescritti e raccomandati dal produttore, tali da consentire un'adeguata lavorazione (trasformazione).

Materiali igroscopici trasformati in condizioni di umidità fuori tolleranza, presentano, sui pezzi stampati, notevoli difetti, quali: bolle e soffiature, superfici striate, fragilità, opacità, instabilità dimensionale, invecchiamento irregolare, ritiri incostanti con deformazione accentuata, ecc.



Fig. 4.10 - Unità di deumidificazione mobile.

Una deumidificazione ottimale dei granuli di materiali plastici è la chiave per ottenere una buona trasformazione ma spesso non basta. In molti processi di stampaggio veloce, il fenomeno della condensa all'interno della cavità dello stampo è un problema serio.

La termoregolazione dello stampo a basse temperature, in caso di presenza di umidità nell'aria ambiente, fa "trasudare" lo stampo e tutte le superfici che lo circondano pregiudicando seriamente la qualità dei pezzi prodotti. Un altro problema è legato alla corrosione dello stampo, che ne riduce la durata.

Allo scopo di eliminare questi fenomeni, si utilizzano deumidificatori per stampi che, grazie a un ciclo frigorifero a condensazione integrata, producono un flusso continuo di aria secca che mantiene costanti le condizioni di stampaggio.

Grazie al ciclo frigorifero questi deumidificatori riescono ad assicurare prestazioni eccellenti mantenendo un consumo energetico molto basso se comparato con altre soluzioni (fig. 4.10).

4.5.2 Robot industriali

È noto che pezzi stampati molto complicati, o perché la loro superficie durante la caduta potrebbe graffiarsi necessitano di una sformatura a mano.

In questi ed in altri casi simili, si è affermato l'impiego di robot industriali i quali estraggono, in ciclo automatico ed in sincronismo con la pressa, i pezzi stampati e li posano, per esempio, su un nastro trasportatore, che li avvia verso un magazzino intermedio o al reparto imballaggio.

Questi robot sono fabbricati mediante elementi componibili; in certe esecuzioni, possono essere usati determinati elementi anche per un altro stampo e/o pezzo stampato (v. ad esempio fig. 4.11).



Fig. 4.11 - Robot per estrazione manufatti

.La sincronizzazione del robot con la pressa ad iniezione è indispensabile e poco difficoltosa, disponendo il robot stesso del proprio comando automatico che controlla tutti i suoi movimenti.

Un altro tipo di robot serve per il caricamento dello stampo con inserti; lavoro non molto difficile su presse orizzontali, essendo possibile progettare lo stampo in modo tale che gli inserti possano essere inseriti nella parte fissa dello stampo stesso.

Anche su presse a chiusura verticale o munite di tavolo rotante o traslante si usano sovente robot per il caricamento con inserti.

Su presse a tavolo rotante, per esempio, è noto l'uso di robot che nelle varie stazioni asportano la materozza centrale del pezzo, lo lucidano, calibrano meccanicamente un foro, applicano un'etichetta e così via.

È ovviamente comprensibile che questi robot rappresentano esecuzioni fatte su misura e se ne consiglia l'uso solo nel caso in cui lo stampo sia destinato alla produzione di una grande serie di pezzi.

Nel calcolo dei costi si deve però tenere anche conto che il robot aiuta ad evitare scarti e di conseguenza aumenta la qualità della produzione.

4.5.3 Nastri trasportatori

Con l'utilizzo dei nastri trasportatori i pezzi stampati possono essere trasportati direttamente nel reparto imballaggio o in raccoglitori più grandi che non troverebbero spazio sufficiente nel bancale della pressa ad iniezione.



Fig. 4.12 - Nastro trasportatore.

In questo modo si può spesso immagazzinare provvisoriamente, in un grosso contenitore, la produzione di parecchie ore, prima di trasportarlo in un magazzino intermedio. Ricordiamo che il posto migliore per il piazzamento del nastro trasportatore è lo spazio sul retro della

pressa ad iniezione, in modo da non ostruire l'accessibilità agli elementi di regolazione e comando siti sul lato frontale della pressa.

Uno scivolo al di sotto dei piastroni portastampo conduce i pezzi stampati sul nastro trasportatore. I nastri trasportatori lavorano in continuo o sincronizzati con il ciclo della pressa. Tale sincronizzazione viene generalmente usata quando si deve sottoporre ogni stampata ad un controllo visivo di qualità.

I nastri trasportatori possono essere regolati per qualsiasi posizione (vedere fig. 4.12) e concepiti per ogni specifica esigenza.

5. PROGETTAZIONE DELLA GEOMETRIA E ANALISI DEL COMPORTAMENTO STATICO

Il progetto, proposto in azienda, prevede la realizzazione di una griglia di copertura in materiale plastico per canalette di drenaggio, che riesca ad ottenere certificazione di carrabilità per la classe C 250. Il metodo utilizzato, per la verifica delle soluzioni sviluppate, è quello della modellazione agli elementi finiti, metodo FEM.

5.1 Metodo degli elementi finiti

Il metodo degli elementi finiti (FEM) è utilizzato dai progettisti per verificare se esistono difetti strutturali nell'opera che hanno progettato, consentendogli di individuare eventuali zone di concentrazione delle tensioni e di apportare, quindi, le necessarie modifiche.

Il metodo FEM è, infatti, una tecnica numerica atta a cercare soluzioni approssimate di problemi descritti da equazioni differenziali alle derivate parziali riducendo queste ultime ad un sistema di equazioni algebriche.

In generale, il metodo agli elementi finiti si presta molto bene a risolvere equazioni alle derivate parziali quando il dominio ha forma complessa (come il telaio di un'automobile o il

motore di un aereo), quando il dominio è variabile (per esempio una reazione a stato solido con condizioni al contorno variabili), quando l'accuratezza richiesta alla soluzione non è omogenea sul dominio (in un crash test su un autoveicolo, l'accuratezza richiesta è maggiore in prossimità della zona di impatto) e quando la soluzione cercata manca di regolarità.

L'acronimo FEM deriva dall'inglese *Finite Element Method*, mentre con l'acronimo FEA (dall'inglese *Finite Element Analysis*) ci si riferisce propriamente all'analisi agli elementi finiti.

5.1.1 Funzionamento

Il Metodo F.E.M. si applica a corpi fisici suscettibili di essere suddivisi in un certo numero, anche molto grande, di elementi di forma definita e dimensioni contenute. Nel continuo, ogni singolo elemento finito è considerato un campo d'integrazione numerica di caratteristiche omogenee. La caratteristica principale del metodo degli elementi finiti è la discretizzazione attraverso la creazione di una griglia (*mesh*) composta da primitive (elementi finiti) di forma codificata (triangoli e quadrilateri per domini 2D, esaedri e tetraedri per domini 3D). Su ciascun elemento caratterizzato da questa forma elementare, la soluzione del problema è assunta essere espressa dalla combinazione lineare di funzioni dette funzioni di base o funzioni di forma (*shape functions*). Da notare che talora la funzione viene approssimata, e non necessariamente saranno i valori esatti della funzione quelli calcolati nei punti, ma i valori che forniranno il minor errore su tutta la soluzione. L'esempio tipico è quello che fa riferimento a funzioni polinomiali, sicché la soluzione complessiva del problema viene approssimata con una funzione polinomiale a pezzi. Il numero di coefficienti che identifica la soluzione su ogni elemento è dunque legato al grado del polinomio scelto. Questo, a sua volta, governa l'accuratezza della soluzione numerica trovata.

Nella sua forma originaria e tuttora più diffusa, il metodo agli elementi finiti viene utilizzato per risolvere problemi poggianti su leggi costitutive di tipo lineare. Tipici i problemi di sforzi-deformazioni in campo elastico, la diffusione del calore all'interno di un corpo materiale. Alcune soluzioni più raffinate consentono di esplorare il comportamento dei materiali anche in campo fortemente non lineare, ipotizzando comportamenti di tipo plastico o visco-plastico.

Inoltre, si considerano talora problematiche accoppiate, all'interno delle quali si possono risolvere simultaneamente diversi aspetti complementari riconducibili ciascuno per conto proprio a un'analisi FEM separata. Tipico in questo senso il problema geotecnico del comportamento di un dato terreno (ambito geomeccanico) alla presenza di moti di filtrazione di falda (ambito idrogeologico).

Il metodo degli elementi finiti fa parte della classe del metodo di Galërkin, il cui punto di partenza è la cosiddetta formulazione debole di un problema differenziale. Questa formulazione, basata sul concetto di derivata nel senso delle distribuzioni, di integrale di Lebesgue e di media pesata (mediante opportune funzioni dette funzioni test), ha il grande pregio di richiedere alla soluzione caratteristiche di regolarità realistiche per (quasi) tutti i problemi ingegneristici ed è pertanto strumento descrittivo molto utile. I metodi di tipo Galërkin si basano sull'idea di approssimare la soluzione del problema scritto in forma debole mediante combinazione lineare di funzioni (le *shape functions*) elementari. I coefficienti di tale combinazione lineare (detti anche gradi di libertà) diventano le incognite del problema algebrico ottenuto dalla discretizzazione. Gli elementi finiti si distinguono per la scelta di funzioni di base polinomiali a pezzi. Altri metodi di tipo Galërkin come i metodi spettrali usano funzioni di base diverse.

5.1.2 Fasi per arrivare al modello

Per arrivare al modello agli elementi finali si seguono delle fasi fondamentali, ognuna delle quali comporta l'inserimento di errori nella soluzione finale:

1. Modellazione: questa fase è presente in tutti gli studi d'ingegneria: si passa dal sistema fisico a un modello matematico, che astrae alcuni aspetti d'interesse del sistema fisico, focalizzando l'attenzione su poche variabili aggregate d'interesse e "filtrando" le rimanenti. Ad esempio nel calcolo del momento flettente di una trave non si prendono in considerazione le interazioni a livello molecolare. Il sistema fisico se complesso è suddiviso in sottosistemi. Nel caso in esame non è necessario, oppure possiamo pensare che si tratti di una parte appartenente a un sistema più complesso, ad esempio

di una nave o di un aeroplano. Il sottosistema sarà poi suddiviso in elementi finiti ai quali verrà applicato un modello matematico. A differenza delle trattazioni analitiche è sufficiente che il modello matematico scelto sia adeguato alle geometrie semplici degli elementi finiti. La scelta di un tipo di elemento in un programma *software* equivale a una scelta implicita del modello matematico che vi è alla base. L'errore che può portare l'utilizzo di un modello deve essere valutato con prove sperimentali, operazione in genere dispendiosa per tempo e risorse.

2. **Discretizzazione:** in una simulazione per via numerica è necessario passare da un numero infinito di gradi di libertà (condizione propria del “continuum”) a un numero finito (situazione propria della *mesh*). La discretizzazione, nello spazio o nel tempo, ha lo scopo di ottenere un modello discreto caratterizzato da un numero finito di gradi di libertà. Viene inserito un errore dato dalla discordanza con la soluzione esatta del modello matematico. Questo errore può essere valutato opportunamente se esiste un modello matematico adeguato all'intera struttura (quindi preferibile da utilizzare rispetto all'analisi FEM) e in assenza di errori numerici di calcolo, ciò può essere considerato vero utilizzando calcolatori elettronici.

5.1.3 Caratteristiche degli elementi

Ogni elemento è caratterizzato da:

- Dimensione: 1D, 2D, 3D.
- Nodi: Punti precisi dell'elemento che ne individuano la geometria. Su ogni nodo dell'elemento viene associato il valore di un campo o gradiente che interessa l'intera struttura. Nel caso di elementi meccanici il campo è quello delle reazioni vincolari (*displacements*).
- Gradi di libertà: i possibili valori che possono assumere i campi o gradienti nei nodi, due nodi adiacenti hanno gli stessi valori.

- Forze sui nodi: forze esterne applicate sui nodi o l'effetto delle reazioni vincolari. Esiste una relazione di dualità tra forze e reazioni vincolari.
- Proprietà costitutive: le proprietà dell'elemento e del suo comportamento. In seguito sarà definito un materiale isotropo con comportamento lineare elastico, definito un modulo di Young e un coefficiente di Poisson.

5.1.4 Tipologia degli elementi finiti

Tutti i programmi che impiegano il metodo degli elementi finiti per l'analisi strutturale sono dotati di una libreria di elementi finiti (in campo elastico lineare ma anche in quello elastoplastico) monodimensionali, bidimensionali e tridimensionali per facilitare la modellazione di una struttura reale.

I più comuni sono i seguenti:

- Monodimensionali:
 - Asta o biella o *truss*: elemento rettilineo a due nodi che ha rigidità solo per le traslazioni e pertanto è atto a trasmettere solo forze assiali. È utilizzato di norma per la modellazione di strutture reticolari.
 - Trave o *beam*: elemento rettilineo a due nodi capace di trasferire ai nodi cui è connesso rigidità per tutti e sei i gradi di libertà e pertanto atto a trasmettere tutte le tipologie di sollecitazioni (forze assiali e taglienti e momenti flettenti e torcenti). Viene utilizzato per la modellazione di strutture intelaiate. Alcuni programmi posseggono anche l'elemento trave su suolo elastico alla Winkler per modellazione di travi di fondazione su suolo elastico.
 - Molla o *boundary* o *spring*: elemento rettilineo a due nodi dotato di rigidità assiale e/o rotazionale utilizzato per modellare vari tipi di vincolo elastico quali ad esempio gli spostamenti imposti;
 - Rigido o *rigel*: elemento rettilineo a due nodi infinitamente rigido usato per modellare un legame infinitamente rigido tra due elementi finiti;

- Bidimensionali:
 - Lastra o *stress plane*: elemento piano a tre o quattro nodi per stati di sforzo piano che possiede solo due gradi di libertà per nodo corrispondenti alle traslazioni nel suo piano (rigidezza membranale) e pertanto atto a trasmettere solo gli sforzi lungo il suo piano. Non trasferisce alcuna rigidezza per gli altri gradi di libertà. Usato per la modellazione di strutture caricate nel loro stesso piano;
 - Piastra: elemento piano a tre o quattro nodi che possiede solo tre gradi di libertà per nodo corrispondenti alla traslazione perpendicolare al suo piano e alle rotazioni rispetto ai due assi giacenti nel piano (rigidezza flessionale), e pertanto atto a trasmettere solo lo sforzo tagliante e i due momenti flettenti. Non trasferisce alcuna rigidezza per gli altri gradi di libertà. Usato per la modellazione di strutture bidimensionali inflesse. Alcuni *software* possiedono anche l'elemento piastra su suolo alla Winkler utilizzato per la modellazione di platee di fondazione su suolo elastico;
 - Lastra-piastra o *guscio* o *shell*: elemento piano a tre o quattro nodi costituito dalla sovrapposizione dell'elemento piastra e dell'elemento lastra e che pertanto è dotato sia di rigidezza flessionale sia membranale.
 - Deformazione piana o *plane strain*: elemento piano a tre o quattro nodi per stati di deformazione piana che possiede solo due gradi di libertà per nodo corrispondenti alle traslazioni nel suo piano. Non trasferisce alcuna rigidezza per gli altri gradi di libertà. È utilizzato per la modellazione di strutture nelle quali lo spessore è prevalente rispetto alle altre dimensioni e dove si può, considera impedita la deformazione nello spessore e pertanto lo stato di deformazione si considera piano come nell'analisi delle sezioni di condotte o di muri di sostegno.
 - Assialsimmetrico: elemento piano a tre o quattro nodi che rappresenta un settore di un radiante di una struttura a simmetria radiale. Questo elemento è impiegato per modellare strutture solide ottenute per rotazione delle quali si frutta la simmetria radiale per analizzare solo un settore della struttura dell'ampiezza di

un radiante. Ogni nodo ha due gradi di libertà corrispondenti alle traslazioni nel suo piano;

- Tridimensionali:
 - *Brick* o elemento solido: elemento da quattro a ventisette nodi che possiede solo tre gradi di libertà per nodo corrispondenti alle tre traslazioni. Non trasferisce alcuna rigidità per gli altri gradi di libertà. È un elemento finito in grado di modellare elementi strutturali solidi nei quali cioè non vi sia una dimensione trascurabile rispetto alle altre. Questo elemento è in grado di interpretare uno stato tensionale tridimensionale. Usato ad esempio per modellare la stratigrafia del suolo.

5.1.5 Nodi

La definizione della geometria del modello che idealizza la struttura reale è effettuata piazzando dei nodi, o punti nodali, sulla struttura in corrispondenza di punti caratteristici. Nel disporre i nodi sulla struttura bisogna tenere presente alcune considerazioni:

- ✓ Il numero dei nodi deve essere sufficiente a descrivere la geometria della struttura. Ad esempio in corrispondenza dell'innesto trave-pilastro, dei cambi di direzione, ecc.
- ✓ I nodi devono essere posizionati anche nei punti e sulle linee di continuità. Ad esempio dove cambiano le caratteristiche dei materiali, le caratteristiche delle sezioni, ecc.
- ✓ Si possono collocare dei nodi in punti non necessari per la definizione geometrica della struttura ma di cui si vogliono conoscere gli spostamenti e le sollecitazioni interne.
- ✓ Se il *software* non lo prevede, si devono posizionare dei nodi in corrispondenza di punti in cui sono applicati carichi concentrati o masse nodali.
- ✓ Si devono mettere nodi in tutti i punti che s'intendono vincolare.
- ✓ Nel caso di strutture bidimensionali (piastre, lastre, ecc.) la suddivisione (*mesh*) in elementi finiti bidimensionali deve essere sufficientemente fitta per cogliere le variazioni di sforzo o di spostamento nelle regioni importanti ai fini dell'analisi.

5.2 Benchmarking

Con *benchmark* o, più spesso e coerentemente con la voce inglese “*benchmarking*”, si intende una metodologia basata sul confronto sistematico che permette alle aziende che lo applicano di compararsi con le migliori e soprattutto di apprendere da queste per migliorare.

Esso può essere:

- *Benchmarking* interno: fra settori diversi della stessa azienda. È rapido, semplice ed economico ma scarsamente efficace poiché raramente permette di trovare soluzioni realmente innovative.
- *Benchmarking* competitivo: fra aziende *competitors*. È abbastanza veloce, semplice ed economico e presenta buone possibilità di trovare soluzioni innovative, ma risulta tipicamente di difficile applicazione se non vi è collaborazione e se vi è timore nel rivelare dati fra concorrenti.
- *Benchmarking* funzionale: fra processi simili di organizzazioni diverse. Facilita l'azienda nel trovare collaborazione e soluzioni innovative, ma è molto costoso in termini di denaro e di tempo. Si necessita in questo caso di forte capacità di adattamento delle soluzioni analizzate.
- *Benchmarking* globale: fra processi diversi di organizzazioni diverse. Ha massima efficacia poiché si individuano le soluzioni migliori sul mercato, ma risulta di difficile applicazione poiché necessita di tempi di studio molto lunghi, visto che raramente le organizzazioni eccellenti aprono all'esterno il proprio *know-how* e le proprie *core-competencies*. Anche qui si necessita di forte capacità di adattare soluzioni esterne alla propria azienda.

Nel caso studiato si fa affidamento al *benchmarking* competitivo al fine di avere la percezione di quanto il prodotto sviluppato sia valido a confronto con i prodotti già presenti sul mercato. La progettazione dell'elemento griglia subisce dunque un forte *input* dallo studio di prodotti della concorrenza. Oltre allo spunto iniziale, il *benchmarking* influenza lo sviluppo delle possibili soluzioni da adottare per la realizzazione della struttura, anche durante le verifiche della resistenza, costituendo il parametro di confronto per le soluzioni ottenute.

I prodotti studiati per arrivare all'obiettivo sono due griglie prodotte da due diversi *competitors*, Concorrente 1 e Concorrente 2. Entrambe risultano fondamentali per l'ottenimento della geometria del prodotto da sviluppare.

Dall'osservazione delle griglie si nota che presentano due diverse sezioni. Il Concorrente 1 adotta una parte superiore piana, supportata da un andamento dei traversini lineare. Il Concorrente 2 presenta una griglia con andamento nella parte superiore arcuata, mentre nella parte inferiore una geometria convessa che si allunga per l'intera ampiezza dell'area libera. La zona che funge da appoggio è simile nelle due griglie: la geometria si presenta con un andamento ad archi, i quali collegano i supporti nella parte finale del traversino, fig. 5.1.

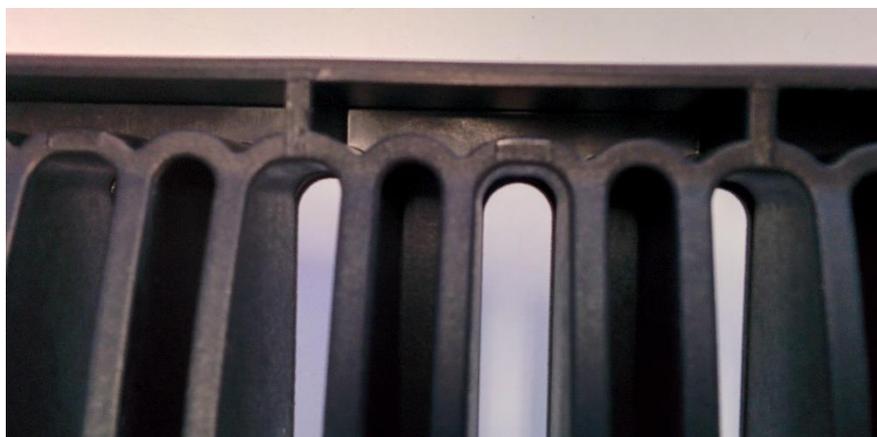


Fig. 5.1 - Particolare degli appoggi sulle griglia Concorrente 2.

In prima analisi si ipotizza che la struttura convessa sia quella più performante a causa della capacità di scomposizione della forza in due componenti (una verticale ed una orizzontale). Per verificare queste supposizioni preliminari si procede alla prova di tipo (prova di carico) secondo la norma di riferimento, fig. 5.2.

Le prove sono effettuate all'interno del laboratorio qualità dello stabilimento. Il laboratorio dispone di tutti i dispositivi necessari per verificare la validità di un prodotto in termini di estetica e di funzionalità.

In questo ambiente si trovano, ad esempio, un *Sun-test* per simulare l'invecchiamento delle materie plastiche, descritto al capitolo 3, una macchina per le prove di urto laterale, uno strumento che misura il grado Vicat di un materiale ed un dinamometro per la misura delle curve di resistenza dei materiali.



Fig. 5.2 - Simulazione di prova di tipo della griglia Concorrente 1.

Il macchinario utilizzato, nello specifico delle prove di tipo, è una pressa idraulica dotata di dumper pneumatico a due livelli, schermo di notifica diretta del carico istantaneo e memoria per la visione retroattiva del valore massimo di forza raggiunto dal provino testato. Il dumper permette di imprimere l'incremento del carico in maniera lineare, nelle stesse modalità indicate dalla norma UNI EN 1433 (o UNI EN124). Per la prova delle griglie il provino è posto all'interno della pressa e poggiato su supporti distanziati di 101 mm come indicato nella normativa. Il punzone ha dimensioni standard 250×75 mm, in riferimento ai dati riportati al capitolo 2.

5.2.1 Osservazione risultati

Completate le prove di tipo, si osserva che la rottura si verifica nella stessa regione su entrambe le griglie e che nessuna delle due strutture raggiunge i 150 kN previsti prima del cedimento. La griglia Concorrente 1, fig. 5.3, risulta decisamente migliore rispetto alla Concorrente 2, fig. 5.4. La prima infatti si rompe a circa il carico totale (150 kN), senza mai raggiungerlo completamente, mentre la seconda cede a circa la metà dei 150 kN posti come obiettivo.

Il motivo per cui i risultati sono così distanti dalle ipotesi avanzate è da ricercare nelle modalità con cui viene condotta la prova.

La caratteristica della struttura a “ponte romano” è quella di scomporre le tensioni in due componenti, una orizzontale e una verticale. Per esercitare la funzione nel migliore dei modi questa soluzione necessita, oltre che di appoggi orizzontali, anche di vincoli laterali per lo scarico delle tensioni trasversali.



Fig. 5.3 - Traversino della griglia Concorrente 1 dopo la prova di certificazione.



Fig. 5.4 - Traversino della griglia Concorrente 2 dopo la prova di certificazione.

La prova imposta dalla normativa prevede, però, solamente appoggi orizzontali, come mostrato in figura 5.6. Le componenti orizzontali degli sforzi generate dalla geometria arcuata non trovano dunque vincoli su cui scaricarsi, rendendo questo tipo di soluzione inutile ai fini della resistenza al carico della griglia.

Inoltre dall'osservazione dei pezzi a seguito delle prove di carico si nota che le griglie del Concorrente 2 subiscono una deformazione plastica, in corrispondenza degli appoggi, da cui parte la cricca che genera la rottura del provino, fig. 5.5. Questo comportamento è dovuto alla disposizione dell'arco inferiore che termina in corrispondenza degli spigoli delle travi di appoggio. Il Concorrente 1, invece, a causa di un differente dimensionamento, presenta deformazioni plastiche sui raccordi della sezione di appoggio, in corrispondenza degli spigoli dei blocchi di sostegno. I cedimenti si originano lungo superfici laterali della geometria inferiore dovuti al raggiungimento del carico di rottura in queste zone. In figura 5.6 si riporta, infine, la superficie superiore del Concorrente 1, dove si osservano i segni impressi dall'azione del punzone con l'aumentare della deformazione della struttura.



Fig. 5.5 - Particolare inferiore del traversino Concorrente 2 dopo la prova di carico.

Fig. 5.6 - Particolare superiore del traversino Concorrente 1 dopo la prova di carico.



Sulla base di queste osservazioni si prendere come riferimento per la progettazione il prodotto Concorrente 1, quello più resistente, cercando di apportarvi opportune modifiche al fine di conferire al progetto una stabilità accettabile in fase di prova.

Al fine di rendere il prodotto di riferimento confrontabile con la geometria che sarà sviluppata, si procede con la simulazione del prodotto Concorrente 1 in ambiente FEM.

5.3 Simulazione griglia Concorrente 1

Definiti i risultati della griglia Concorrente 1 come parametri di riferimento progettuali, si procede a simulare le griglie in ambiente di calcolo agli elementi finiti.



Fig. 5.7 - Vista in sezione della griglia Concorrente 1.

La griglia Concorrente 1 è quindi riprodotta mediante il *software* di progettazione 3D *Solidworks*, i dettagli sono mostrati nelle figure 5.7, 5.8, 5.9.

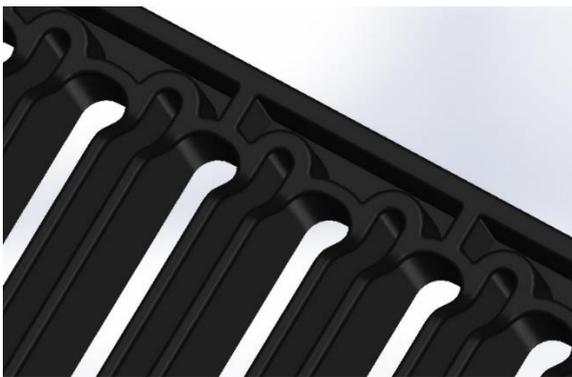


Fig. 5.8 - Particolari parte inferiore griglia Concorrente 1.



Fig. 5.9 - Griglia Concorrente 1.

La geometria viene dunque importata in ambiente *Ansys* per la simulazione agli elementi finiti. Il sistema che si imposta è fedele al caso analogico derivante della prova di carico. Gli appoggi, fig. 5.10, e il punzone, fig. 5.11, sono dimensionati come previsto dalla norma al capitolo 2.

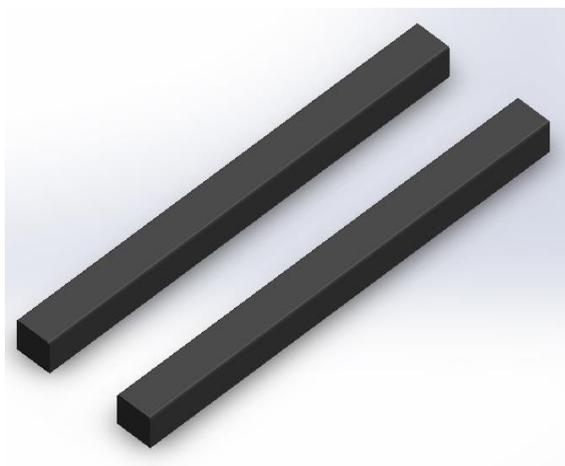


Fig. 5.10 - Appoggi e punzone per la prova

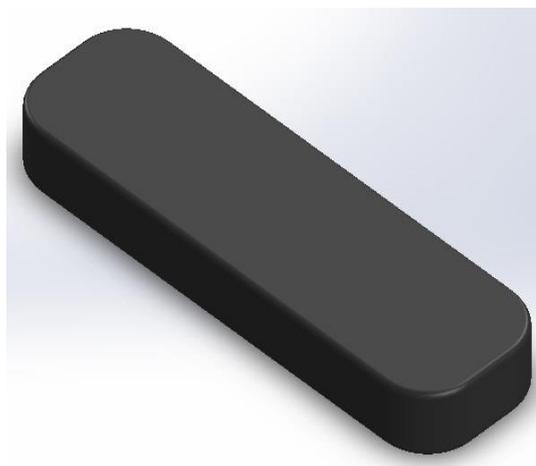


Fig. 5.11 - Punzone utilizzato per la prova.

In figura 5.12 è mostrato il sistema completo per la simulazione.

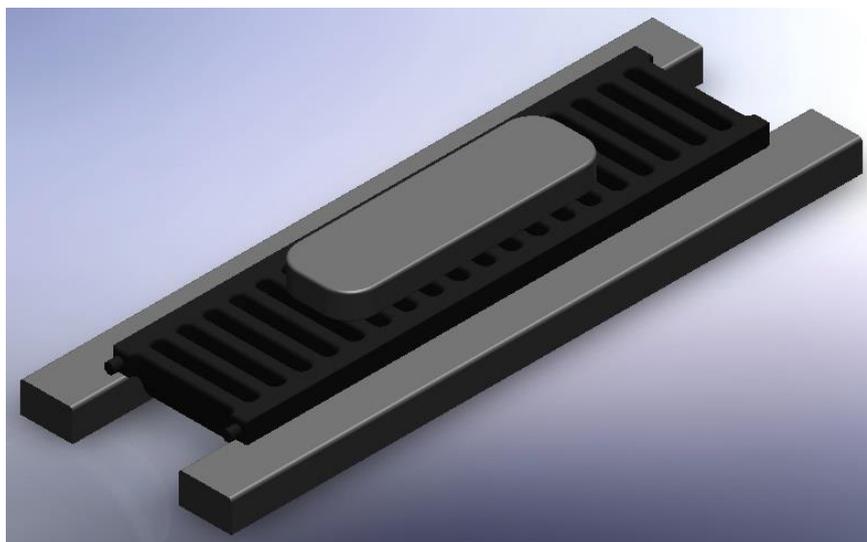


Fig. 5.12 - Sistema completo per la simulazione.

I dati del materiale, inseriti all'interno del programma, sono estrapolati dalla scheda tecnica esposta al capitolo 3 e riportati nelle loro impostazioni nella tabella 5.1.

| | A | B | C | D | E |
|----|-------------------------------|---------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | Property | Value | Unit | | |
| 2 | Density | 1340 | kg m ⁻³ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3 | Isotropic Elasticity | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4 | Derive from | Young's Mo... | | | |
| 5 | Young's Modulus | 6200 | MPa | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6 | Poisson's Ratio | 0,35 | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7 | Bulk Modulus | 6,8889E+09 | Pa | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8 | Shear Modulus | 2,2963E+09 | Pa | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9 | Bilinear Isotropic Hardening | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10 | Yield Strength | 100 | MPa | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11 | Tangent Modulus | 250 | MPa | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12 | Tensile Yield Strength | 100 | MPa | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13 | Compressive Yield Strength | 100 | MPa | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14 | Tensile Ultimate Strength | 110 | MPa | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 15 | Compressive Ultimate Strength | 110 | MPa | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Tab. 5.1 - Impostazioni del materiale in ambiente *Ansys*.

I supporti fissi sono costituiti dalle superfici inferiori delle travi di appoggio, impostati in modo tale che risultino vincolati con la base del banco di prova, fig. 5.13.

Il carico imposto, anch'esso previsto dalla normativa, è di 150 kN. Da alcune simulazioni di prova, per la verifica delle impostazioni, si è osservato come una forza, distribuita sulla superficie della griglia, generi nella struttura uno stato tensionale omogeneo. Questi risultati non presentano le concentrazioni degli sforzi che si osservano sui provini testati. Per questo motivo la forza è impressa sul punzone, fig. 5.14, e non direttamente sulla superficie del prodotto, per evitare che i risultati ottenuti non siano allineati al caso reale. Seguendo questo ragionamento, unitamente ad una corretta impostazione dei contatti si riesce ad ottenere una simulazione aderente a ciò che effettivamente si verifica inserendo i provini nella pressa. I contatti tra le superfici dei corpi sono impostati come contatti con attrito, con un coefficiente di valore pari a 0,2. Nella tabella 5.2 è riportato un esempio dell'impostazione settata per l'interfaccia tra griglia e punzone, le stesse modalità sono impostate per i contatti della griglia sugli appoggi di sostegno.

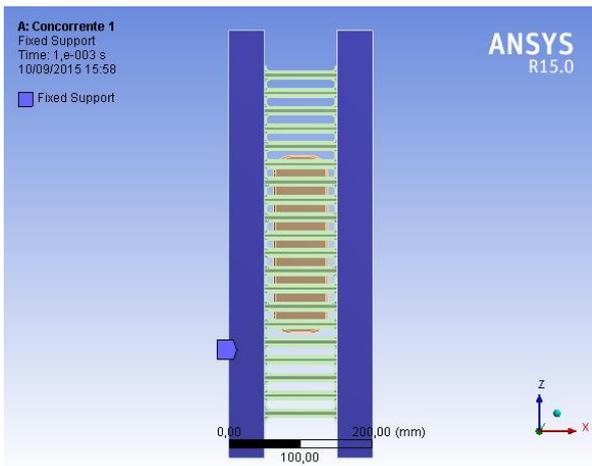
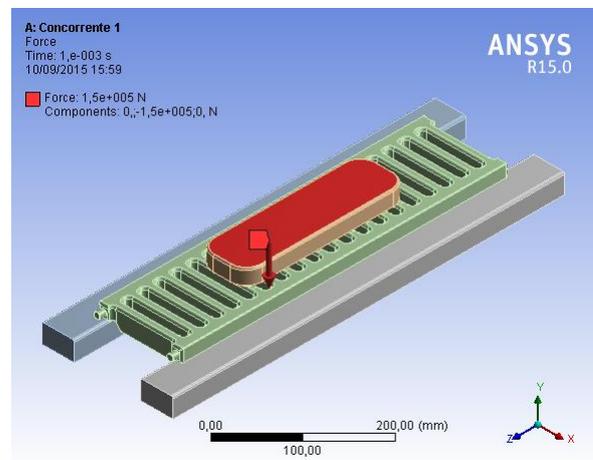


Fig. 5.13 - Impostazione dei supporti per la simulazione.

Fig. 5.14 - Impostazione del carico per la simulazione.



L'albero progettuale, al termine delle impostazioni preliminari, si presenta come mostrato in figura 5.15. Con queste impostazioni si procede alla simulazione, mantenendo come obiettivo la riproduzione digitale del reale comportamento della griglia al momento della prova di carico.

| Scope | |
|---|-----------------------|
| Scoping Method | Geometry Selection |
| Contact | 7 Faces |
| Target | 50 Faces |
| Contact Bodies | Punzone-1 |
| Target Bodies | Griglia Concorrente 1 |
| Definition | |
| Type | Frictional |
| <input type="checkbox"/> Friction Coefficient | 0,2 |

Tab. 5.2 - Impostazioni dei contatti.

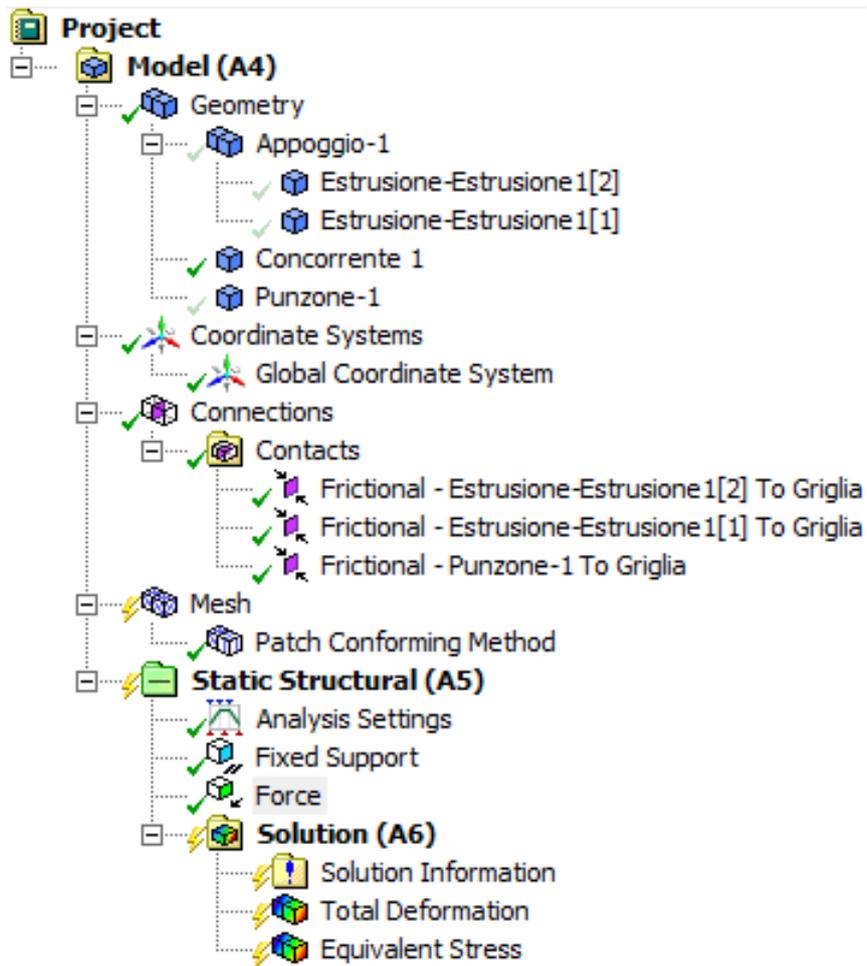


Fig. 5.15 - Albero del progetto in ambiente *Ansys*.

5.3.1 Osservazione risultati griglia Concorrente 1

La simulazione restituisce un risultato in linea con le esperienze analogiche effettuate. Come evidenzia l'immagine riportata, fig. 5.16, le parti con lo stato tensionale maggiore sono coerenti con le osservazioni condotte sui traversini rotti: le zone più sollecitate sono quelle in corrispondenza degli appoggi e delle superfici laterali della geometria inferiore dei traversini, come osservato in precedenza.

Nella parte superiore, fig. 5.17, la zona maggiormente caricata è quella in corrispondenza degli spigoli del punzone, coerentemente a quanto evidenziato dai segni riscontrati sul pezzo estratto dalla pressa.

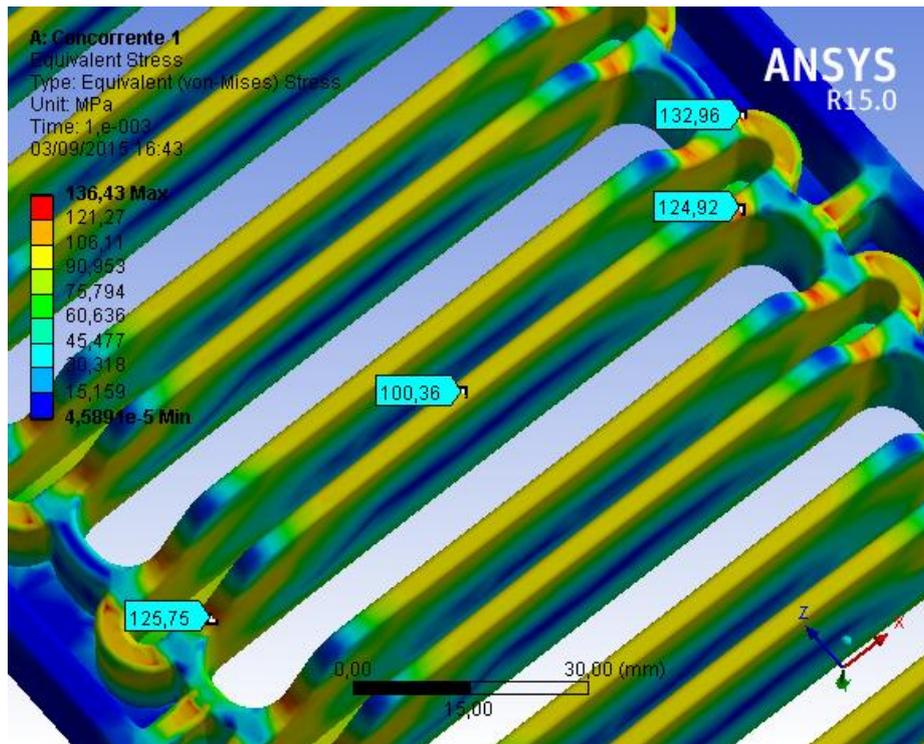


Fig. 5.16 - Risultati griglia Concorrente 1, vista inferiore.

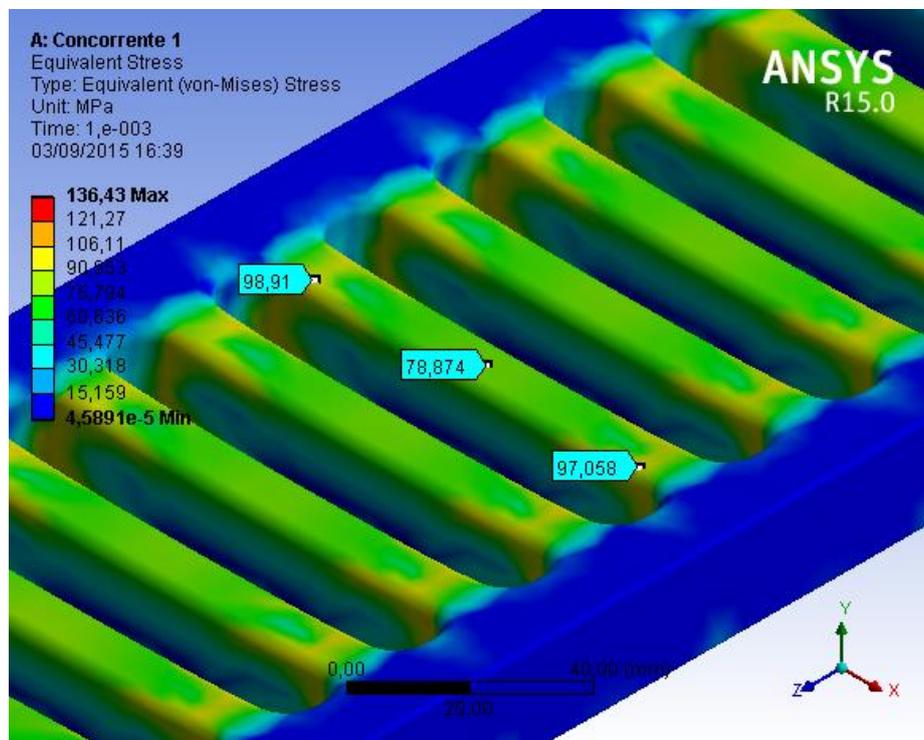


Fig. 5.17 - Risultati griglia Concorrente 1, vista superiore.

A sua volta, il risultato sulla deformazione totale della struttura è coerente con le osservazioni pratiche effettuate, fig. 5.18.

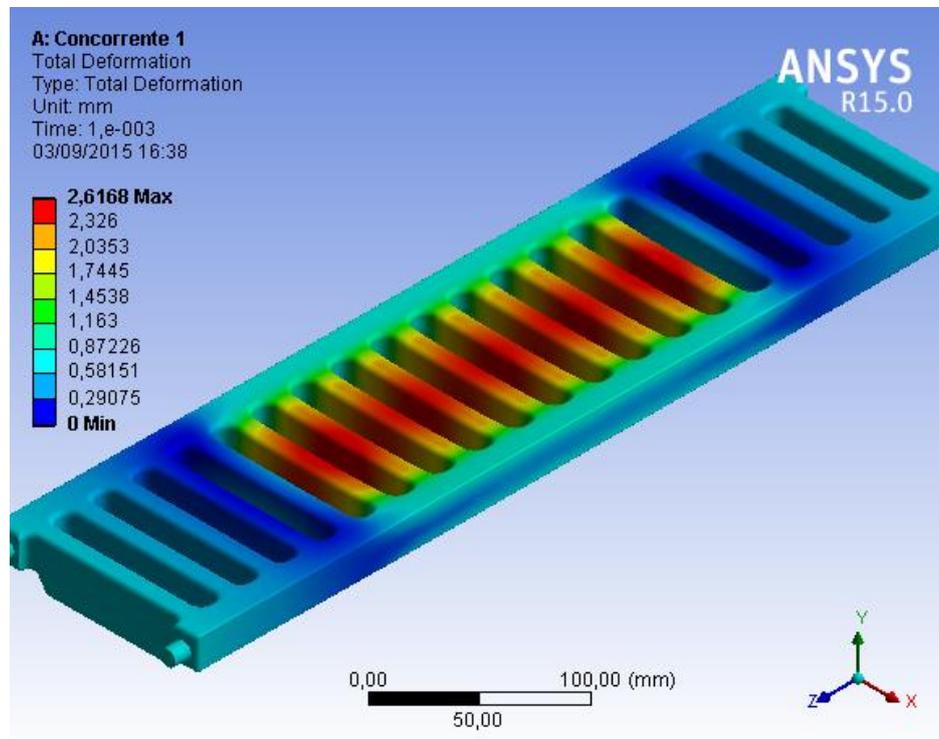


Fig. 5.18 - Risultati deformazione griglia Concorrente 1.

Questa simulazione, oltre a fornire una base di confronto per i progetti futuri, conferma l'attendibilità delle impostazioni applicate alla prova digitale, la quale restituisce risultati paragonabili a quello che si verifica nella realtà.

5.4 Simulazione griglia Concorrente 2

Con le stesse modalità del caso precedente anche il prodotto del Concorrente 2, meno performante, è stato ricreato attraverso il *software* di modellazione 3D *Solidworks*, fig. 5.19 e 5.20.

A differenza delle ipotesi avanzate a monte delle prove di tipo, l'esperienza presuppone un risultato peggiorativo rispetto alla prima simulazione condotta. La prova è eseguita con le medesime impostazioni utilizzate in precedenza.



Fig. 5.19 - Vista in sezione della griglia Concorrente 2.



Fig. 5.20 - Griglia Concorrente 2.

5.4.1 Osservazione risultati griglia Concorrente 2

I risultati confermano ulteriormente l'efficacia delle impostazioni settate. Come nel caso precedente, si osserva che le zone maggiormente sollecitate sono quelle dove si verifica la rottura reale del provino, fig. 5.21. Anche a livello numerico la prova dimostra che questa soluzione è peggiorativa rispetto a quella condotta sulla griglia Concorrente 1: il valore massimo della tensione si assesta attorno ai 160 Mpa, riscontrando un aumento dello stato tensionale del 25%.

A differenza del caso precedente, si nota che sulla parte superiore non si verifica più una concentrazione delle tensioni in corrispondenza degli spigoli del punzone, fig. 5.22. Questo è determinato dall'andamento della superficie nella parte superiore della griglia Concorrente 2. La geometria convessa (raggio 0,85 m) a contatto con il punzone, in fase di implementazione del carico, genera una distribuzione di pressione concentrata in evoluzione (a modulo numerico quadratico) mano a mano che si raggiunge la planarità della griglia.

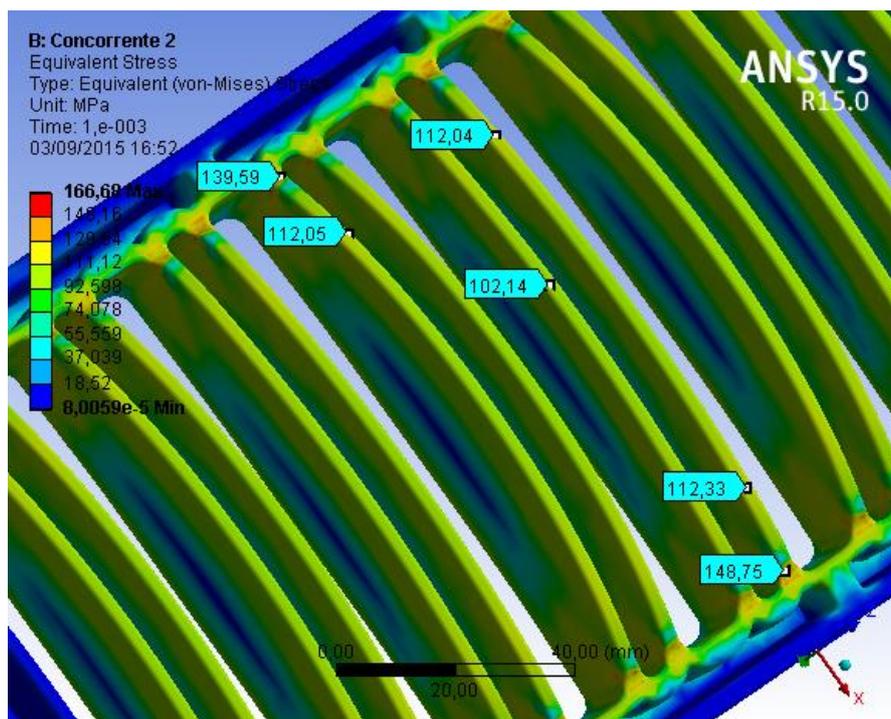


Fig. 5.21 - Risultati griglia Concorrente 2, vista inferiore.

Il risultato riguardante la deformazione, fig. 5.23, sottolinea il fatto che la griglia in questione sia quella con le prestazioni peggiori, evidenziando un aumento delle deformazioni di circa il 50% rispetto ai risultati ottenuti dalla griglia Concorrente 1.

Con l'esperienza acquisita dalle indagini, sia analogiche che digitali, condotte sulle griglie prodotte dalla concorrenza, si procede con la progettazione di una nuova griglia, forti di un bagaglio di informazioni che permetta la realizzazione di un prodotto migliorativo rispetto alle soluzioni presentate dalle aziende concorrenti.

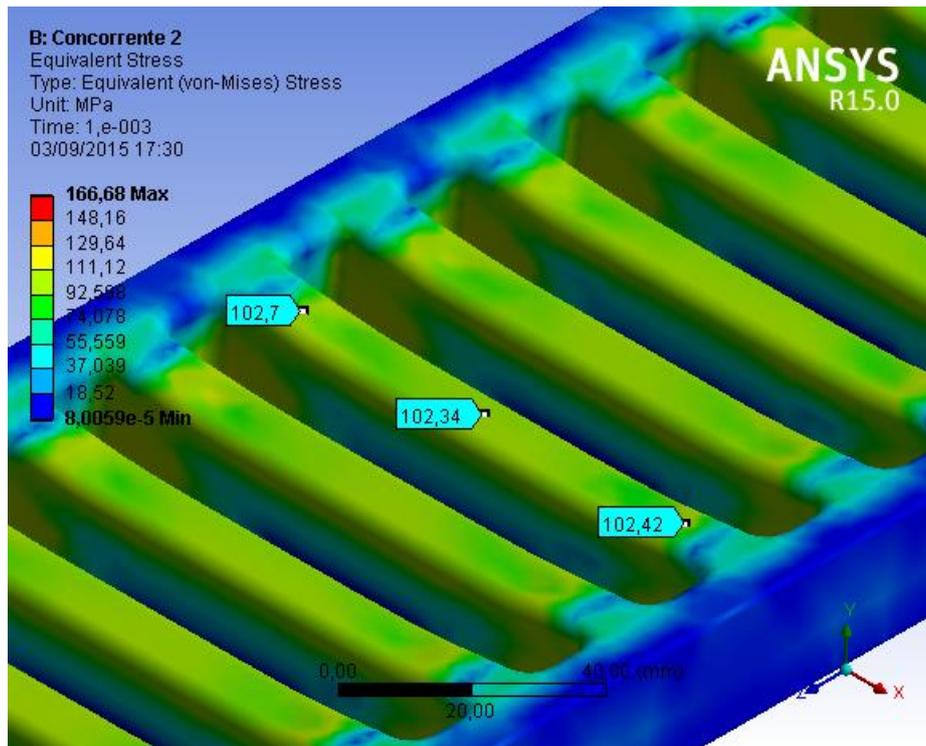


Fig. 5.22 - Risultati griglia Concorrente 2, vista superiore.

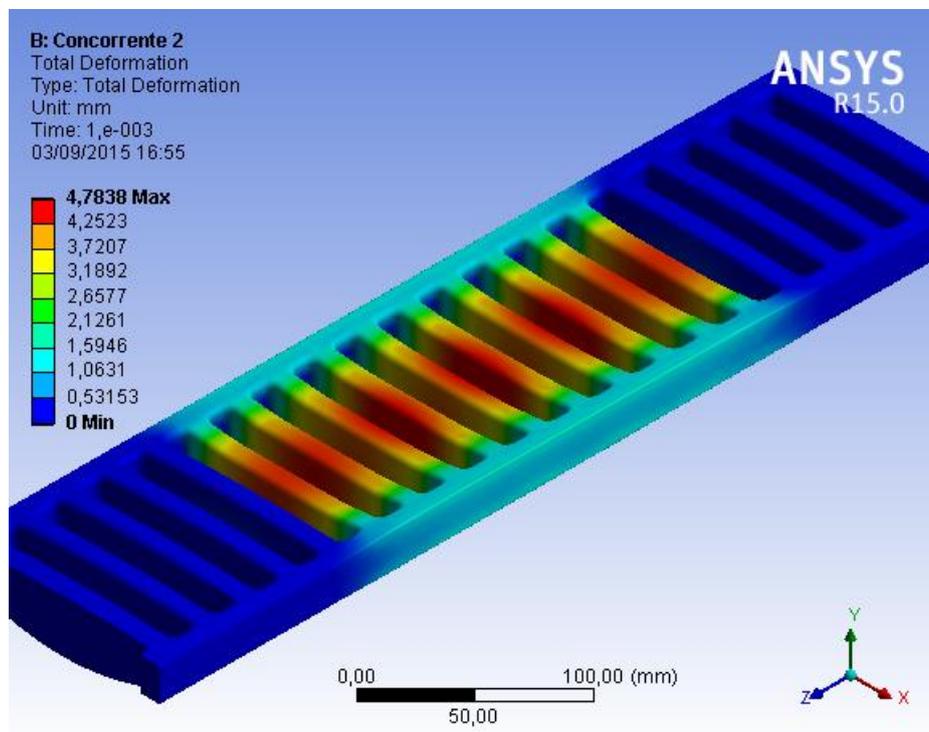


Fig. 5.23 - Risultati deformazione griglia Concorrente 2.

5.5 Progetto geometria griglia

Durante la fase preliminare della progettazione sono definite le caratteristiche principali della struttura griglia. La dimensionalizzazione del perimetro è studiata in modo che il prodotto si adatti agli elementi di sostegno prodotti dall'azienda. Per questo motivo la griglia ha dimensioni $128 \times 30 \times 500$ mm con una tolleranza di ± 1 mm, come indicato dalla norma presa in esame.

La geometria di base è molto influenzata dalle osservazioni effettuate sulle griglie concorrenti. I traversini sono sviluppati in maniera da riprendere la soluzione adottata dal Concorrente 1, fig. 5.24.

Nella figura 5.24, inoltre, si può osservare che la parte superiore della griglia ha andamento piano. La decisione è conseguente alle prove ed alle osservazioni condotte fino a questo punto e illustrate al punto 5.2.1 e durante le simulazioni agli elementi finiti.

Gli angoli ai lati della base della sezione del traversino, a seguito delle esperienze fatte, sono risultati scarichi da tensioni, fig. 5.16, si è ipotizzato dunque di poter risparmiare materiale in questo punto, arrotondando la sezione della griglia con un raggio di raccordo più ampio. Di conseguenza la base inferiore è leggermente ridotta rispetto al Concorrente 1, ma non essendo questa una zona in cui si presenta la rottura, si considera accettabile questa variazione della geometria.



Fig. 5.24 - Vista in sezione della griglia progettata

Nella parte di appoggio si è studiata una soluzione che permettesse alla griglia di avere un contatto costante sui supporti utilizzati per la prova, fig. 5.25.

Dalle prove condotte, fig. 5.16, si osserva che le parti più sollecitate sono proprio quelle in corrispondenza dei contatti, dove il materiale subisce una forte deformazione plastica a seguito dell'applicazione del carico.

Con la soluzione adottata si ipotizza di conferire alla griglia una superficie di contatto più ampia, che permetta alla geometria un migliore assorbimento degli sforzi generati.

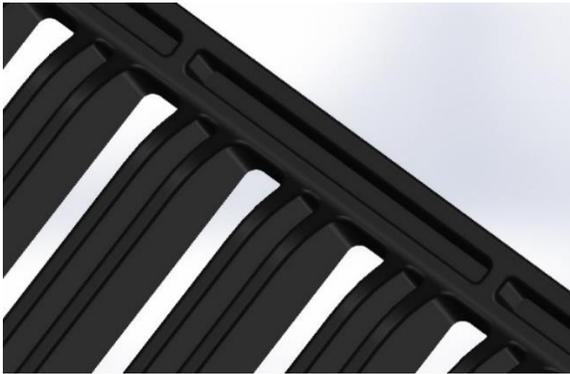


Fig. 5.25 - Vista in inferiore della griglia progettata.

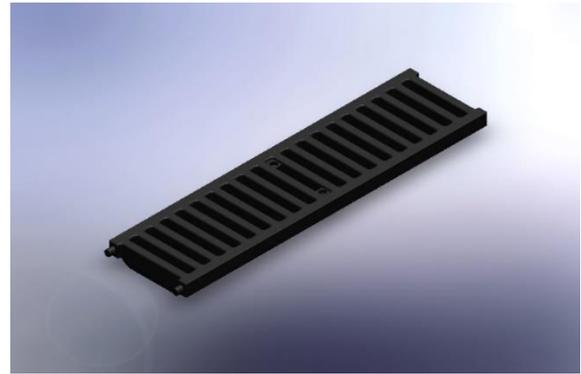


Fig. 5.26 - Griglia progetto 2.

La geometria della griglia è importata in ambiente *Ansys* per procedere con la verifica mediante la simulazione FEM.

5.5.1 Osservazione risultati progetto

Le impostazioni, utilizzate nelle simulazioni per la valutazione della griglia, rimangono invariate rispetto alle simulazioni precedenti. La soluzione studiata per l'area di appoggio, in base ai risultati ottenuti, risulta migliorativa in termini di tensioni e deformazione plastica. La diminuzione delle tensioni è di circa 10% sulle zone più sollecitate, fig. 5.27. Questa diminuzione indica che la geometria sviluppata, per le aree di contatto, contribuisce allo scarico delle tensioni in maniera più efficiente rispetto ai prodotti della concorrenza.

Nella regione superiore l'andamento delle tensioni è coerente con la simulazione del Concorrente 1: in entrambi i casi la superficie piana genera una concentrazione delle tensioni sugli spigoli del punzone, fig. 5.28.

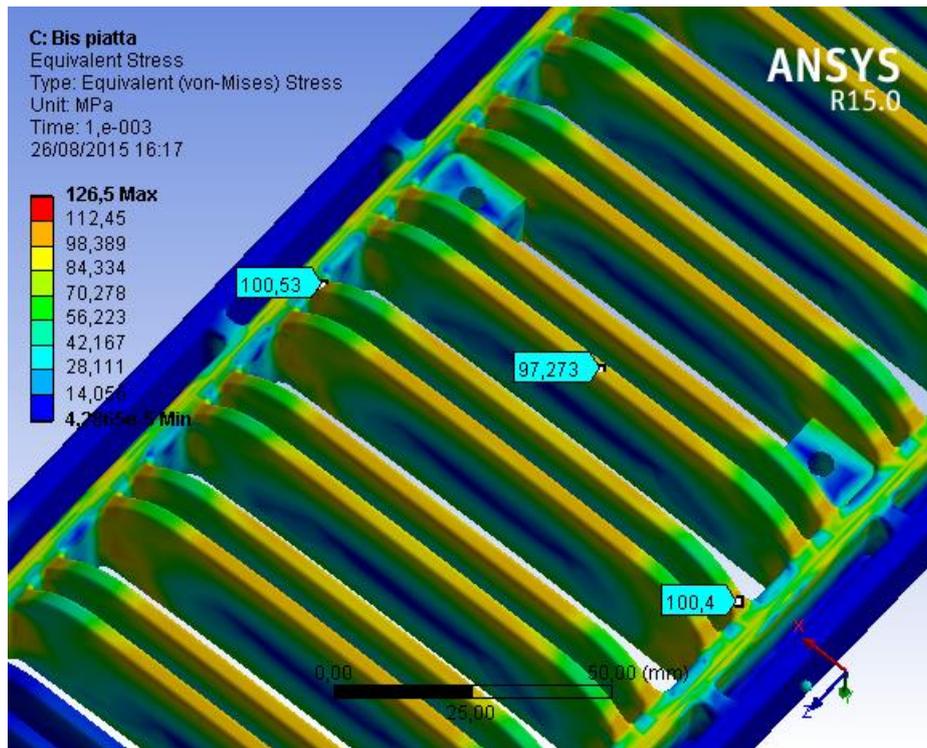


Fig. 5.27 - Risultati griglia progettata, vista inferiore.

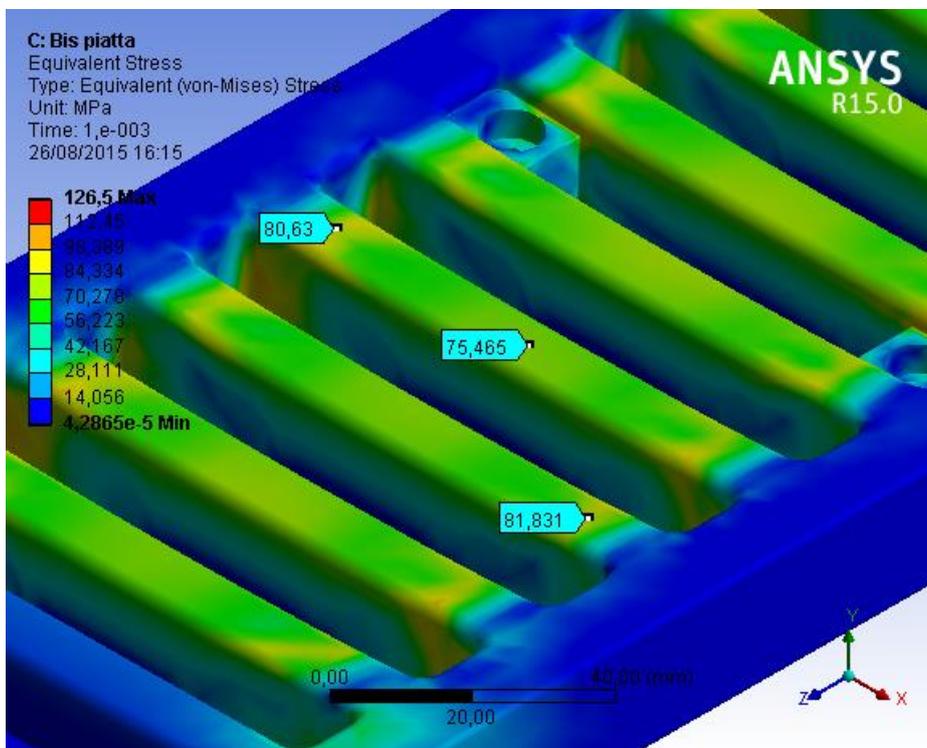


Fig. 5.28 - Risultati griglia progettata, vista superiore.

Il risultato della deformazione, a seguito dell'implementazione del carico, restituisce dati molto confortanti sulla resistenza alla deformazione della geometria, figura 5.29, migliorando le prestazioni della griglia Concorrente 1.

Dato che: la griglia che costituisce il parametro di confronto resiste a quasi la totalità del carico di prova e che la struttura sviluppata risulta migliorativa nella zone più sollecitate, si può ragionevolmente ritenere che quest'ultima costituisca una valida soluzione, al fine di ottenere la certificazione per la classe di carico C 250 secondo la norma UNI EN 1433.

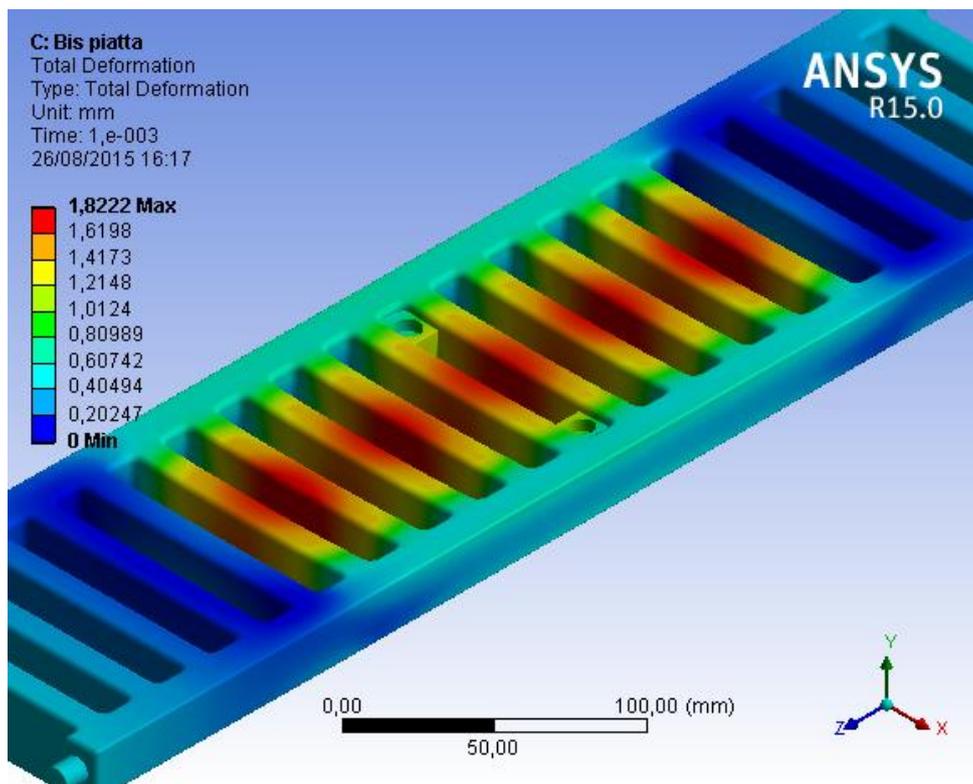


Fig. 5.29 - Risultati deformazione griglia progettata.

5.6 Progetto griglia parallelo

Nonostante il raggiungimento di una progettazione soddisfacente di un nuovo prodotto, è stato affrontato un ulteriore studio per lo sviluppo di una soluzione con sezione arcuata, allo scopo di ovviare agli errori progettuali riscontrati nel griglia Concorrente 2.

La condizione necessaria affinché la struttura arcuata sia performante, esposta durante l'analisi dei traversini al punto 5.2.1, è che siano presenti vincoli verticali ai lati, sui quali le tensioni trasversali possano scaricarsi. Per fornire al reparto commerciale una soluzione che presenti questa tipologia di andamento sulla superficie superiore, si procede nello studio di una struttura alternativa a quella proposta.

Compresa la teoria della struttura a “ponte romano”, si sviluppa una griglia con sezione arcuata, fig. 5.30. A differenza del prodotto Concorrente 2, alla sommità convessa, è affiancata una geometria concava nella parte inferiore, con due pareti verticali che fungono da sostegno sui vincoli imposti dalle pareti laterali delle travi di appoggio, usate per la prova di carico.



Fig. 5.30 - Vista in sezione della griglia progetto parallelo.

Le pareti verticali, inserite nella parte inferiore della griglia, sono distanziate di 100 mm. Questa dimensionalizzazione è dovuta al fatto che, in fase di verifica, i sostegni di supporto hanno un interasse di 101 mm. La volontà è quella di ridurre al minimo il gioco tra la griglia e gli appoggi. Questa soluzione estremizzata (gioco di 0,5 mm) è motivata dal fatto che le superfici verticali hanno effetto benefico se in grado di scaricare le tensioni. Con questa soluzione, perché le pareti vadano a contatto con i sostegni, la griglia deve subire una deformazione plastica minima, anziché che sopportare flessioni importanti, prima di risentire dei benefici della nuova geometria.

Elaborata questa soluzione parallela, come nei casi visti in precedenza, si importa l'intero sistema della prova in ambiente digitale per la simulazione agli elementi finiti.



Fig. 5.31 - Griglia progetto parallelo.

5.6.1 Osservazione risultati progetto parallelo

L'osservazione dei risultati, al termine della fase di simulazione, indica che anche la seconda soluzione proposta è migliorativa rispetto ai prodotti analizzati durante la fase di *benchmarking*, figure 5.32 e 5.33.

Nella parte superiore la distribuzione degli sforzi è simile al caso del Concorrente 2, data la similitudine del profilo convesso. La differenza con il prodotto che ha ispirato questa soluzione si trova nella parte sottostante la griglia: in questa zona sono state artificialmente create superfici verticali, che fungono da scarico per gli sforzi orizzontali, generati dalla geometria ad arco.

Lo stato tensionale, confrontabile con la prima soluzione studiata, presenta una diminuzione delle tensioni rispetto alla concorrenza di circa 15 %. Il risultato ottenuto è migliore anche della prima soluzione analizzata. Ciò è dovuto al fatto che con questa configurazione la geometria “abbraccia” le travi che fungono da sostegno, limitandone “l'effetto coltello” in corrispondenza degli spigoli.

L'osservazione delle deformazioni risulta conforme con le simulazioni precedenti, fig. 5.34.

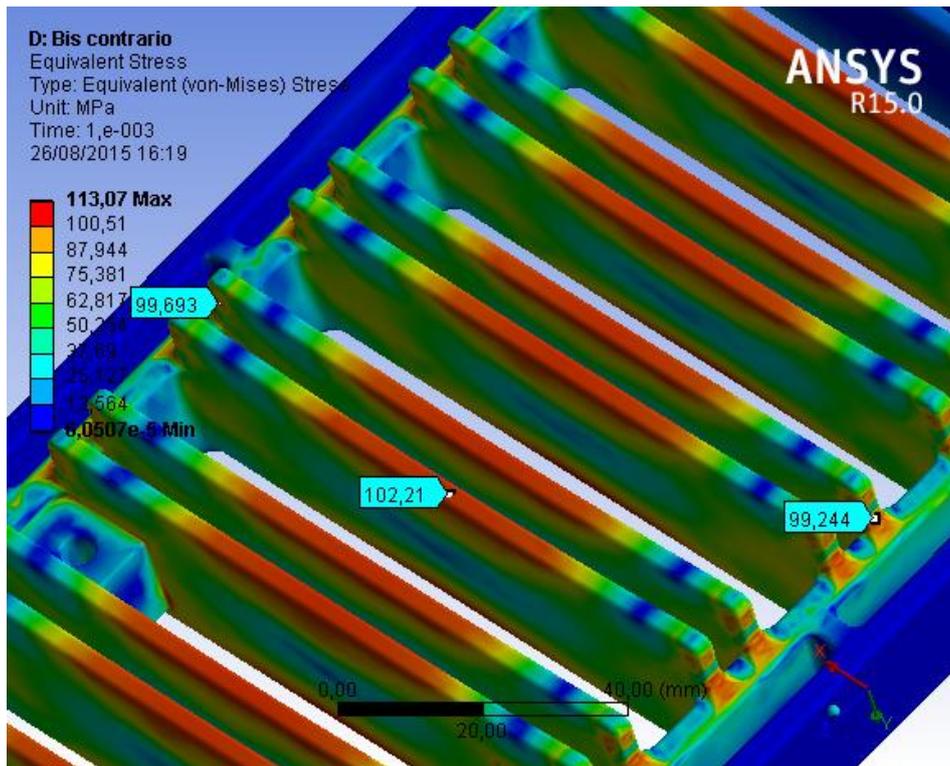


Fig. 5.32 - Risultati griglia progetto parallelo, vista inferiore.

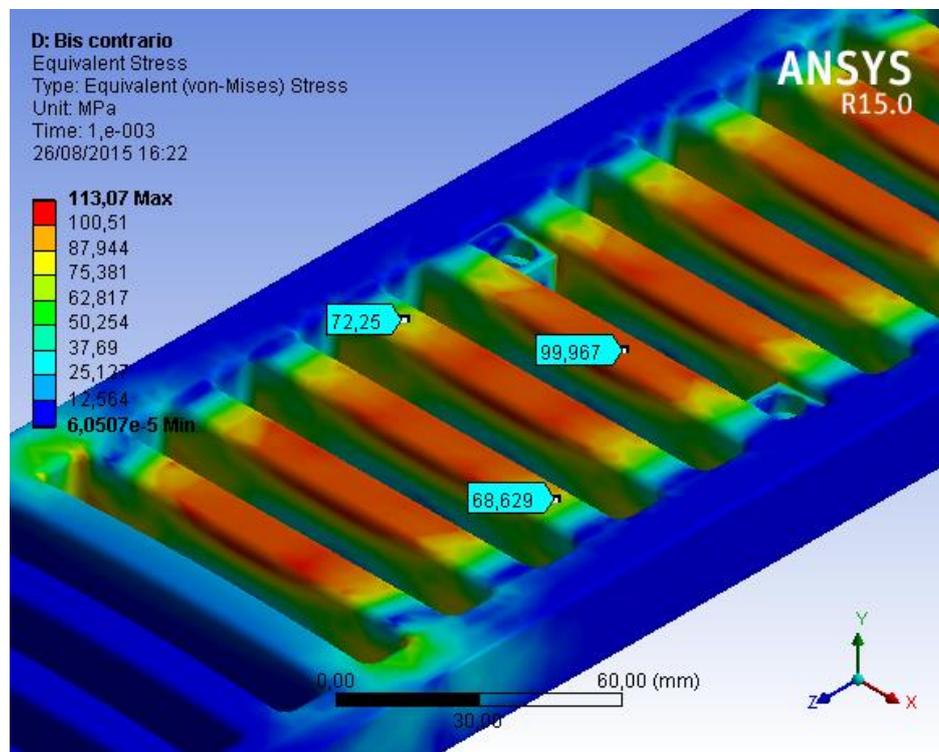


Fig. 5.33 - Risultati griglia progetto parallelo, vista superiore.

L'aumento della deformazione totale, rispetto alla prima griglia sviluppata, è da ricondursi all'andamento arcuato della parte superiore. In questa zona, come nel caso della griglia concorrente 2, il punzone concentra, in un primo momento, gli sforzi nella parte centrale, portando il materiale a traslare verso il basso in maniera più repentina rispetto alla soluzione con la sommità piana.

Confrontata con i risultati ottenuti a seguito del *benchmarking* anche questa tipologia di griglia risulta essere performante in termini di resistenza al carico e classificabile C 250 (obiettivo fissato all'inizio dello studio).

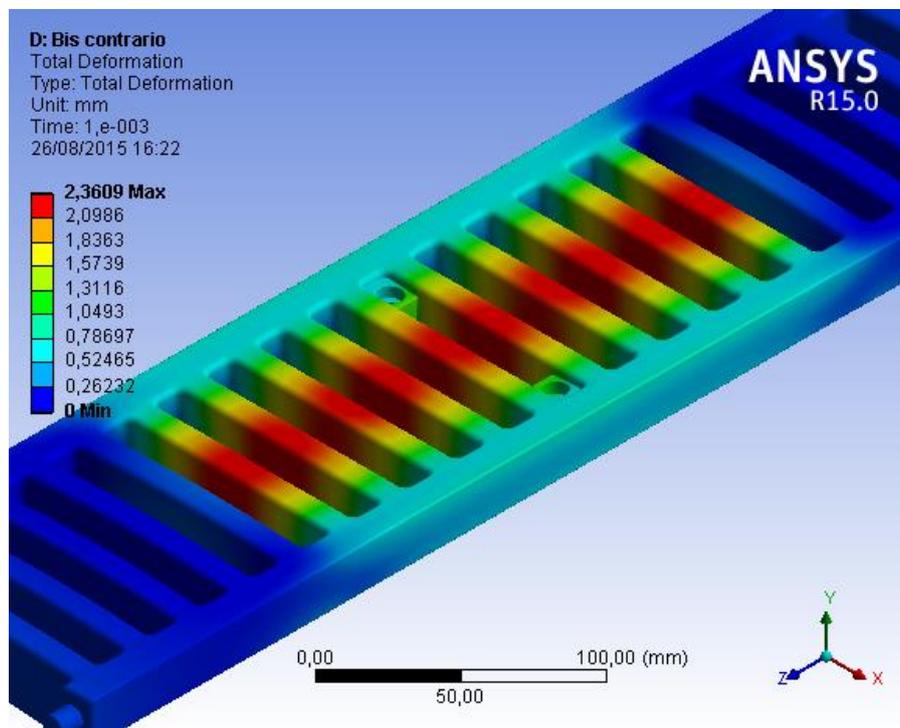


Fig. 5.34 - Risultati deformazione griglia progetto parallelo.

5.7 Confronto tra le soluzioni ottenute

Entrambe le soluzioni proposte presentano geometrie che consentono ai due moduli strutturali di accoppiarsi alla cerchiatura di appoggio.

Entrambe le soluzioni proposte presentano la stessa componente peso, di conseguenza risultano equivalenti dal punto di vista dell'impatto economico sulla materia prima.

La prima soluzione è ottenuta da analisi svolte su geometrie classiche, con facce a vista piane e ponti sottostanti regolari, di conseguenza l'azienda avrebbe già il *know-how* necessario per tutto ciò che ne concerne il confezionamento, l'imballo e lo stoccaggio.

La soluzione successiva, con sezione a "ponte romano", costituirebbe un dato innovativo nel settore specifico applicato, infatti non risultano controtipi sul mercato. Tale dato consentirebbe alla parte commerciale, all'atto della presentazione e vendita del prodotto, di differenziarsi da prodotti precedenti e concorrenti.

Nel caso l'azienda optasse per approfondire le tematiche inerenti la progettazione di quest'ultima soluzione, sarebbe sicuramente necessario affrontare uno studio riguardante le metodologie di imballo e stoccaggio prodotto, sia per l'azienda stessa che per gli utenti finali, fase di trasporto compresa.

Difficoltà potrebbero infatti nascere nella fase di sviluppo dell'imballo, nell'accoppiamento a due o multipli di due, nel contatto tra le sezioni concave e non regolari.

CONCLUSIONI

La tesi, svolta in ambiente aziendale, ha la finalità di applicare la progettazione a modellazione FEM, analisi agli elementi finiti, ad un elemento strutturale prodotto con materiale plastico, poliammide PA66 30 FV, i cui requisiti meccanici siano rispondenti alla normativa europea UNI EN 1433.

Lo studio ha quindi individuato due soluzioni atte allo scopo prefissato.

Si può dunque affermare:

- Grazie alla tecnica della modellazione FEM è stato possibile analizzare i limiti dei prodotti della concorrenza, pervenendo così a soluzioni migliorative e performanti.
- La prima proposta presentata, le cui geometrie si sviluppano con superfici piane e regolari, risulta migliorata come resa strutturale. Questa potrebbe essere eclettica con prodotti della concorrenza, costituendo così una innovazione per l'azienda, per ciò riguarda il nuovo prodotto, ma non innovativa in termini di mercato "globale".

- L'elemento strutturale presentato in ultima analisi mantenendo comunque caratteristiche comuni a tutte le soluzioni, nostre e della concorrenza, rappresenta una frontiera innovativa grazie ad una semplice geometria, ripresa dalle tecniche costruttive più "collaudate" (architrazzature con chiavi di volta e strutture a "ponte romano"). Risulta comunque da studiarsi e vagliarsi tutta la filiera del confezionamento.
- Tecnicamente entrambe le soluzioni risultano comunque validate. Rimettiamo la scelta finale alla parte commerciale ed al *marketing*, che, attraverso lo studio, avranno la possibilità di saggiare l'impatto estetico funzionale ancor prima di rendere esecutivo il progetto.
- Il nuovo prodotto dovrà essere in grado di ottenere l'effetto superficiale satinato della ghisa, mantenendo la funzionalità, leggerezza in posa in opera di un elemento plastico. Lo stampo per la formatura dell'elemento strutturale sarà quindi trattato nelle sue parti interne per dare l'effetto finale di mattatura superficiale.
Per uniformità con il mondo delle ghise e dei metalli sono stati studiati semplici motivi, a basso rilievi, che fungono da elementi per il *gripping* in superficie, atti quindi a prevenire effetti sdruciolevoli: alcune proposte prevedono la ripetizione di forme circolari, esagonali, rettangolari.
In appendice le proposte presentate al vaglio della parte commerciale.

Lo studio progettuale, volto all'analisi a modellazione agli elementi finiti della struttura identificata in un coperchio rettangolare con finestrazzature asolate per il coronamento e la chiusura di canali idraulici, è stato condotto validando i dati di *input* e *output*, in conformità al sistema di gestione qualità ISO 9001 aziendale. Ciò costituisce l'iter procedurale obbligatorio per l'approvazione di nuovi progetti, nel caso specifico la norma europea di riferimento è la UNI EN 1433.

I dati sperimentali, le prove in laboratorio, lo studio in *reverse engineering* ottenuto grazie alle prove di carico su strutture della concorrenza hanno reso possibile e coadiuvato i parametri necessari per la progettazione in ambiente virtuale; qui l'evoluzione del programma ha

permesso di implementare sul sistema di vincolo (contatti di appoggio e contatti di carico) effetti antilineari del “tutto” affini agli effetti riscontrati nei dati sperimentali.

Con l’occasione di questa tesi, sviluppata in ambiente aziendale produttivo, in stretto contatto e sinergia con tecnici di ricerca e sviluppo, qualità prodotti, è stato possibile presentare al complesso di tutto l’organigramma tecnologico aziendale, la validità e la versatilità del calcolo FEM, la cui eleganza è intrinseca alla capacità, esperienza e sensibilità del progettista di tradurre in ambiente matematico i pochi dati generati dai molti effetti fisici, tutto questo nell’ottica, non così scontata, che “il modello fisico deve comandare il modello matematico e non il contrario”.

APPENDICE





BIBLIOGRAFIA

- **MODULISTICA PER APPROVAZIONE E SVILUPPO NUOVI PROGETTI FIRST PLAST S.r.l.**
- **NORMA EUROPEA UNI EN 1433**, *Febbraio 2008.*
- **LINEE GUIDA PER LO STAMPAGGIO AD INIEZIONE DELLE MATERIE PLASTICHE**, Manuale di supporto alla preparazione delle procedure per la produzione di manufatti plastici mediante stampaggio ad iniezione, *Loire Ricci, Vittorio Mandorini . Giugno 2000.*
- **DISPENSE LEZIONE SUI TECNOPOLIMERI**, *Prof. MAURO PASQUALI*, Università di Roma, *Ottobre 2012.*
- **TECNOLOGIE DI LAVORAZIONE DI POLIMERI AD ALTISSIME PRESTAZIONI**, *Squeo Anna, 2009.*