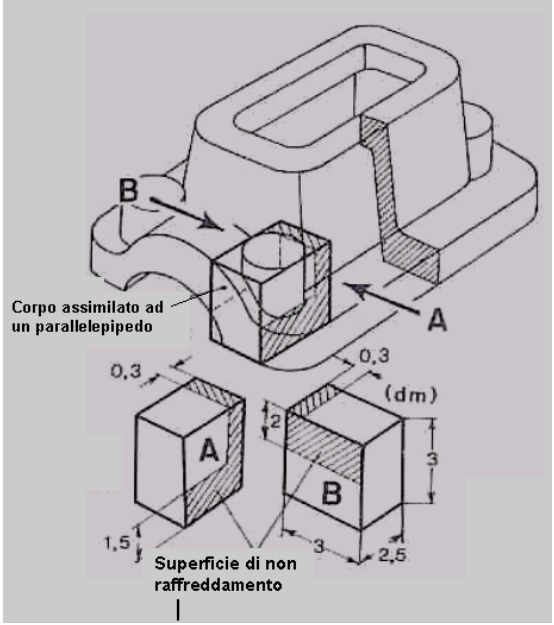
Il calcolo e posizionamento di materozze con l'utilizzo di *SOLIDCast* e di modelli 3D – caso delle gs

J.Alva
Consulente, Cameri

Introduzione

Uno dei compiti più difficili per il responsabile di metodi è di definire correttamente il sistema di alimentazione. Leghe e metalli contraggono nel passaggio da liquido a solido e questo ritiro deve essere compensato con le cosiddette materozze (fig.1a). Queste riserve di metallo liquido forniscono materiale al getto mentre raffredda e solidifica prevenendo così la formazione di risucchi e assicurando la produzione di pezzi integri.

(a)



(b)

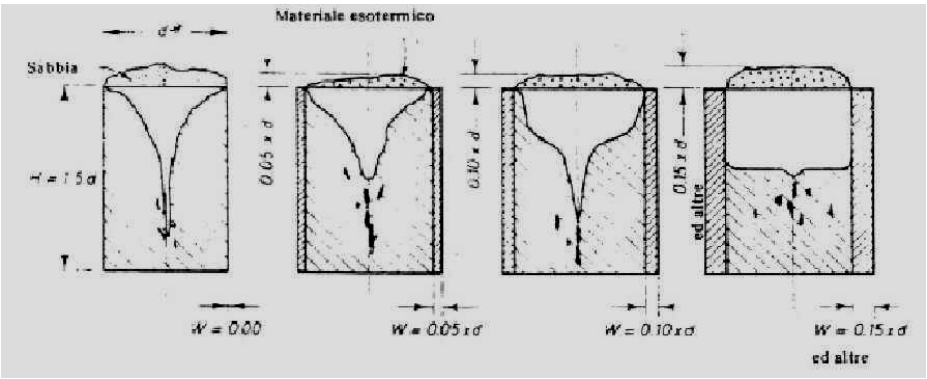
Fig.1 (a) Vista in sezione dei una valvola in acciaio alimentata solo su una delle flange (b) Calcolo del modulo per assimilazione in una cassa turbina

L'approccio varia da fonderia a fonderia. Molti si basano su esperienza e istinto che porta la progettazione al campo dell'arte. Altri eseguono dei calcoli partendo dal concetto del modulo di raffreddamento (**V/S**) che consiste nel calcolare i rapporti Volume/Superficie di raffreddamento delle diverse sezioni del getto (fig.1b). Le parti che hanno i moduli più bassi solidificano per prime e viceversa, quelle che hanno i moduli maggiori solidificano per ultimo. Secondo la regola di Chvorinov in uso nella fonderia, il tempo di solidificazione è proporzionale al quadrato del modulo.

Usando questo concetto non dovrebbe essere difficile derivare delle regole semplici. Poiché la materozza deve essere in grado di fornire metallo, essa deve restare liquida più a lungo della zona del pezzo da alimentare. Ciò significa che dovrà avere un modulo superiore in modo da solidificare successivamente. Inoltre, onde assicurare un'alimentazione progressiva, idealmente il pezzo dovrebbe essere disegnato in modo che i moduli (o spessori) aumentino progressivamente dalle sezioni più sottili a quelle più robuste dove saranno applicate le materozze. Per fortuna le ghise sferoidali soprasiedono a queste regole.

Una considerazione aggiuntiva ha a che fare con il volume di alimentazione richiesto e che dipende dalla contrazione totale che ha luogo nel pezzo dalla fine della colata fino al completamento della solidificazione. Il volume disponibile è funzione del tipo della cavità di ritiro in materozza. Questa cavità è più profonda e quindi più pronunciata nelle materozze in sabbia e invece meno marcata in presenza di materiale isolante o esotermico (fig.2a).

Ciò vuol dire che solo una parte del volume della materozza è disponibile per l'alimentazione. In presenza di maniche, il metallo resta liquido più a lungo di modo che più metallo liquido rimane disponibile per tale compito. Il rendimento aumenta con lo spessore del materiale esotermico (fig.2b). Naturalmente, la quantità richiesta deve essere uguale o inferiore a quella disponibile per l'alimentazione.

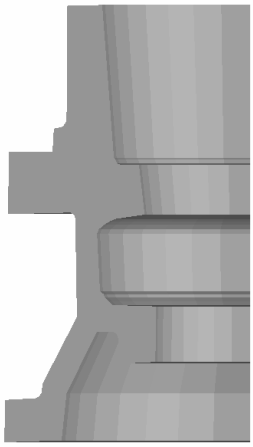


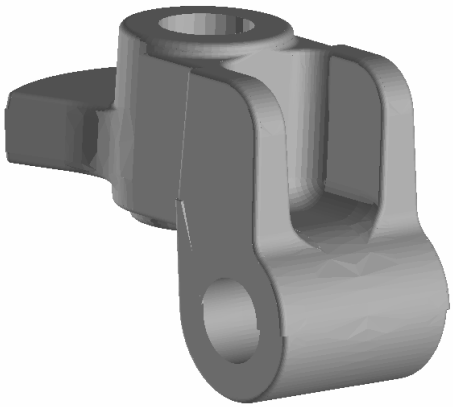
(a) (b)

Fig.2 L'efficienza della materozza dipende dalla presenza o meno di materiale isolante o esotermico (b) Il rendimento aumenta con lo spessore del materiale esotermico

Le limitazioni dei metodi tradizionali

Mentre i concetti suddetti sono relativamente semplici e ovvi, la loro implementazione non lo è. La prima ragione è costituita dalla difficoltà di calcolare i moduli di raffreddamento nei getti reali anche per la presenza di giunzioni non facilmente assimilabili (fig.3), per l'effetto di saturazione di anime a forma complessa (fig.4a) e non ultimo l'effetto del riempimento.



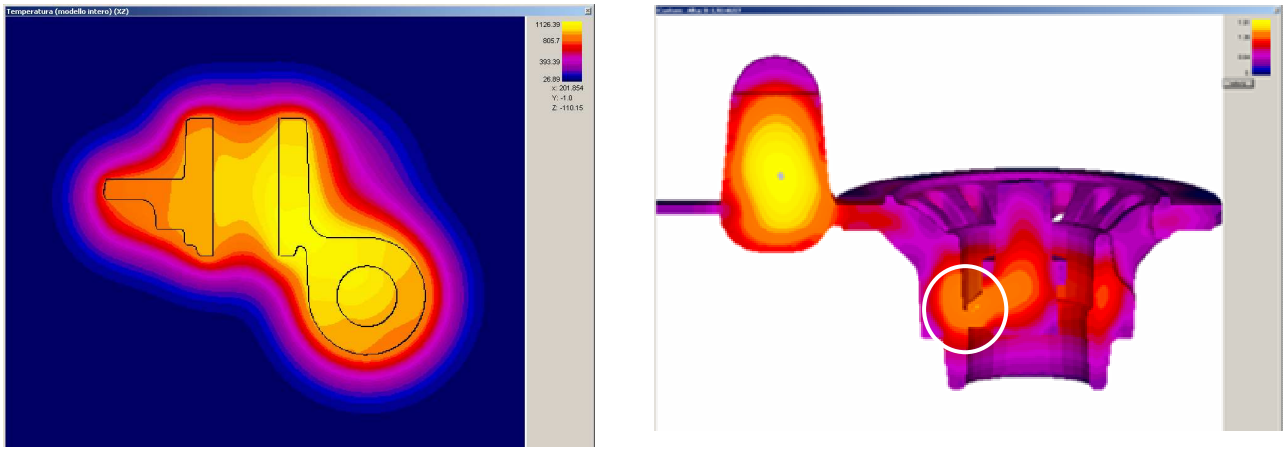


(a) (b)

Fig.3 (a) Mozzo con giunzioni varie (b) geometria a rischio di saturazione termica delle anime

Sarebbe più giusto parlare di moduli termici ma non disponiamo di fattori di correzione in tutti i casi. Tutto ciò può dare luogo a valutazioni errate o soggettive con ricadute sui valori dei moduli geometrici e quindi sull'andamento della solidificazione.

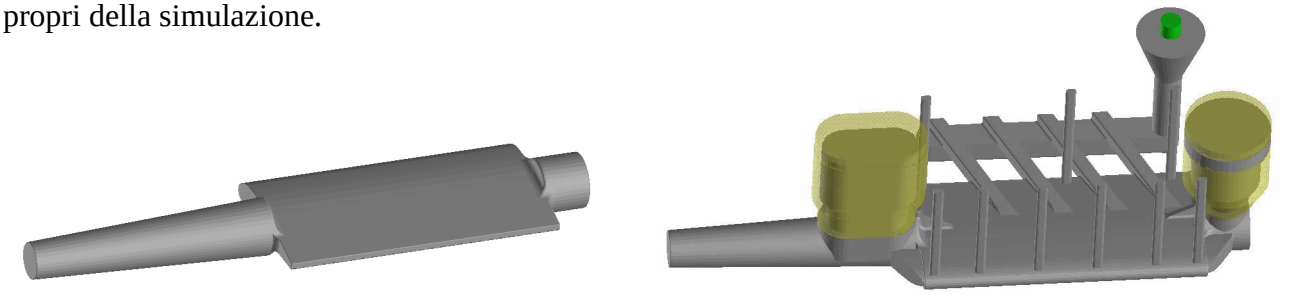
Queste valutazioni vengono invece risolte facilmente e rapidamente mediante simulazione evitando cosi ogni soggettività nell'analisi del particolare sia in fase precedente (fig.4a) che dopo l'applicazione delle materozze (fig.4b).



(a) (b)

Fig.4 (a) Analisi delle temperature del particolare di fig.3a. Si noti la saturazione termica (in colore giallo) che interessa entrambe le anime (b) zona termica alterata nel raccordo pezzo-manica dovuta alla posizione della manica all'interno dell'anima e che dava luogo a ritiri in questa zona

Un'altra difficoltà sorge nel caso di getti a geometria estesa e di sezione costante anche in modo parziale (fig.5). Se non si assicura una certa progressività nel raffreddamento possono insorgere dei problemi di porosità nelle zone opposte opp. distanti alle materozze. Tradizionalmente si usava il concetto di distanza di alimentazione o raggio di azione delle materozze che però erano limitati a geometrie regolari. Come comportarsi con profili diversi? Servono qua invece dei criteri che sono propri della simulazione.



(a) (b)

Fig.5 (a) Pala in acciaio legato di oltre 1,50 m di lunghezza di una turbina idraulica (b) la sezione centrale di sezione regolare con lo schema di alimentazione illustrato era propensa alla presenza di porosità

L'utilizzo della simulazione

Durante gli ultimi anni la simulazione della solidificazione usando modelli 3D è diventata una pratica diffusa. Tali simulazioni possono fare previsioni sulla solidificazione progressiva o meno

dei getti e sui relativi potenziali difetti. Il maggior inconveniente è dato tuttavia della necessità di disporre di un progetto di partenza. E' curioso che anche fonderie che dispongono di mezzi avanzati debbano utilizzare l'approccio tradizionale per elaborare il progetto iniziale.

Dato che ora disponiamo più facilmente di disegni 3D dai clienti opp. modellisti, alla **Finite Solutions** è parso che sarebbe stato possibile sviluppare una metodologia più precisa e automatica partendo dal software esistente chiamato ***SOLIDCast***. Il punto di partenza per questo sviluppo è che l'approccio del modulo è essenzialmente un tentativo per stimare i tempi di solidificazione del particolare prima dell'applicazione di materozze. Tuttavia, utilizzando un programma di simulazione moderno, il tempo di solidificazione di ogni singola sezione del pezzo può essere determinata rapidamente e in modo preciso (fig.6).

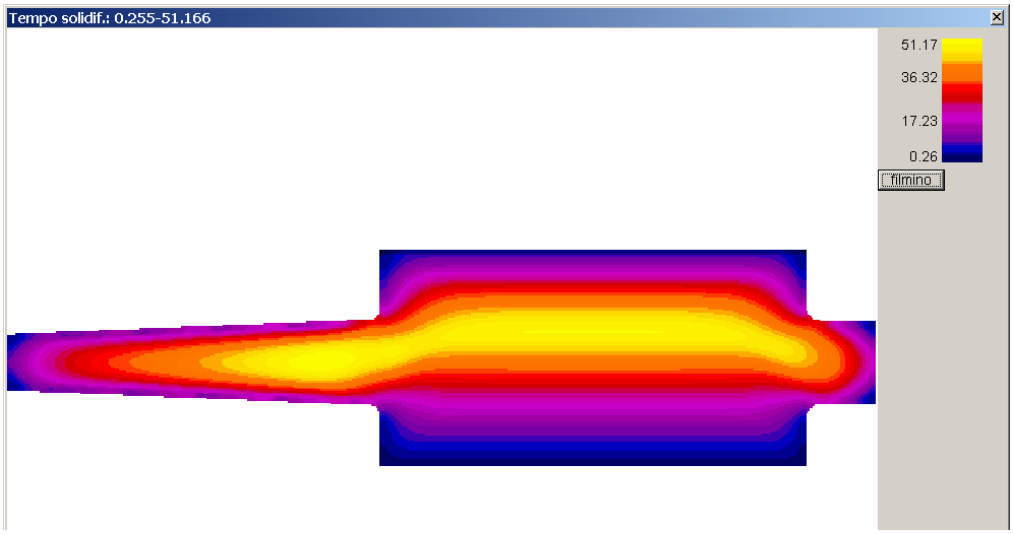


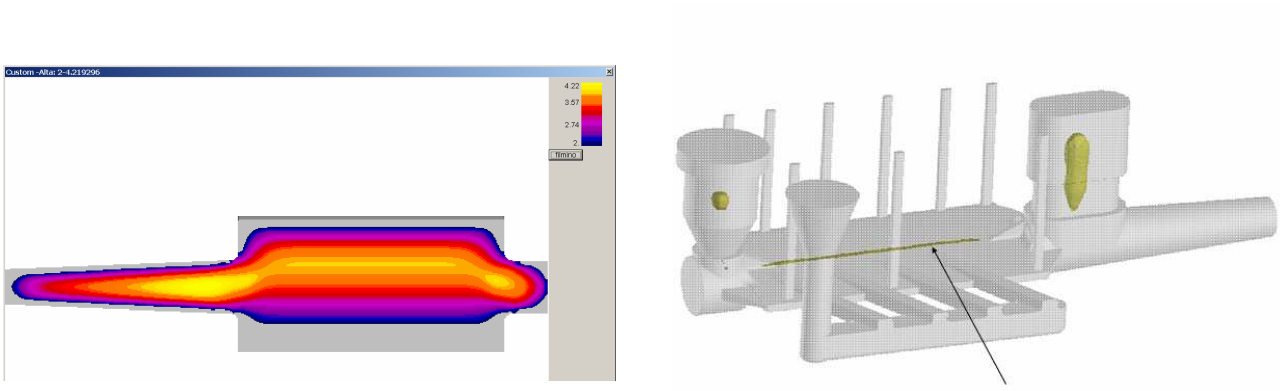
Fig.6 Profilo dei tempi di solidificazione nella mezzeria del modello precedente. Il tempo massimo risulta essere 51 min.

E' quindi possibile, ricevendo un modello 3D via email, eseguire una simulazione del pezzo in pochi minuti utilizzando per es. il metodo degli "Elementi finiti" per avere un'informazione completa dei tempi di solidificazione del pezzo.

La determinazione dei moduli

La questione seguente è come relazionare questa informazione a quella delle potenziali materozze che si dovrebbero attaccare al pezzo. Chiaramente non avendo simulato questi elementi, non possiamo comparare il tempo di una materozza arbitraria con quelli del pezzo. La risposta alla questione è lo sviluppo di un calcolo per convertire i tempi di solidificazione del pezzo in valori equivalenti di modulo. Ciò consentirà all'utilizzatore di comparare una materozza con il pezzo giacché il modulo della materozza può essere calcolato facilmente.

Allo scopo di sviluppare una tale procedura è stato necessario elaborare una formula che tenesse in conto l'ampio campo di proprietà delle diverse leghe utilizzate oggi nel settore della fonderia di modo che i moduli risultanti fossero precisi a dispetto del tipo di lega. Il risultato è ottenuto utilizzando un sottoprogramma ed è illustrato in fig. 7.

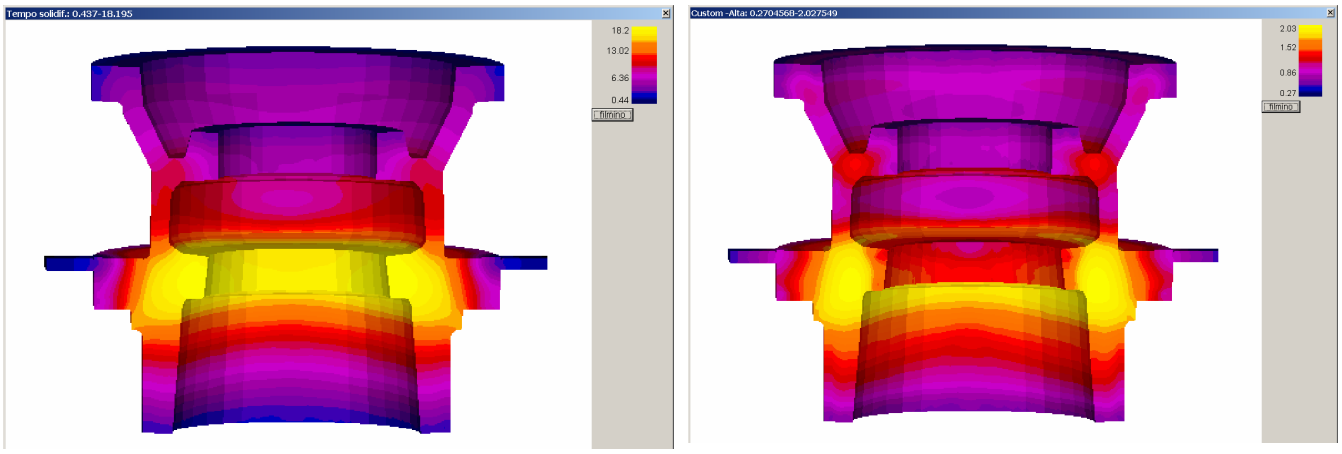


(a) (b)

Fig.7 (a) Distribuzione dei moduli superiori a 2 cm nel getto precedente. Il valore massimo è 4,22 cm. Si notino i due punti caldi localizzati nelle giunzioni e quello centrale molto esteso e regolare (b) le criticità all'interno del pezzo

L'effetto del riempimento

La valutazione dell'effetto di riempimento per ovvie impossibilità non viene mai preso in considerazione in un'analisi teorica sebbene viene forse intuito. Attraverso la simulazione e considerando i punti obbligati di ingresso è invece possibile valutare tale effetto agli effetti della distribuzione sia delle temperature che dei moduli (fig.8). Tra l'altro ***SOLIDCast*** possiede un sottoprogramma di riempimento per la valutazione della distribuzione delle temperature a fine colata. Si noti come la definizione dei punti caldi sia più evidente con i moduli che non con i tempi le cui differenze appaiono più sfumate.



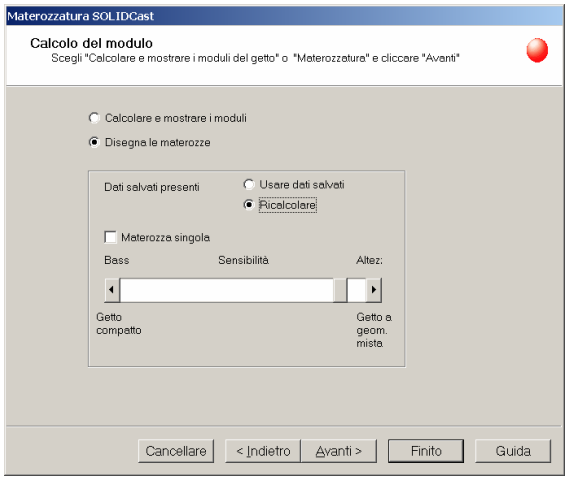
(a) (b)

Fig.8 Effetto del riempimento sui (a) tempi di solidificazione (b) sui moduli

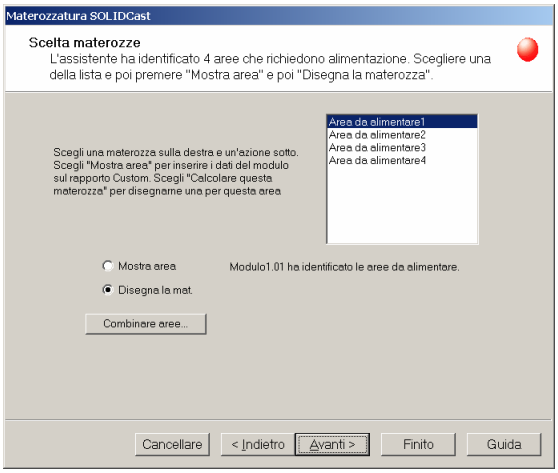
Nota bene: Nei grappoli è sufficiente simulare il singolo getto a condizione che la distribuzione dei modelli sia simmetrica, condizione che deve essere sempre e comunque ricercata.

La definizione delle aree critiche

Un'altra questione è se data una schiera di valori di moduli del pezzo, il sistema sarà in grado di riconoscere aree separate di alimentazione e quindi di consigliare il numero di materozze e la loro localizzazione. Ciò è stato possibile sviluppando un software di riconoscimento capace di identificare i punti caldi del pezzo che hanno bisogno di essere alimentati. Il livello di discriminazione può essere regolato dall'utilizzatore mediante una barra di scorrimento dalla posizione "più sensibilità" a "meno sensibilità"(fig.9a). La maggiore sensibilità è da applicare a getti che hanno esigenze di integrità di massimo livello. Nelle gs in condizioni metallurgiche normali (1) è possibile lavorare sulla posizione centrale



(a)

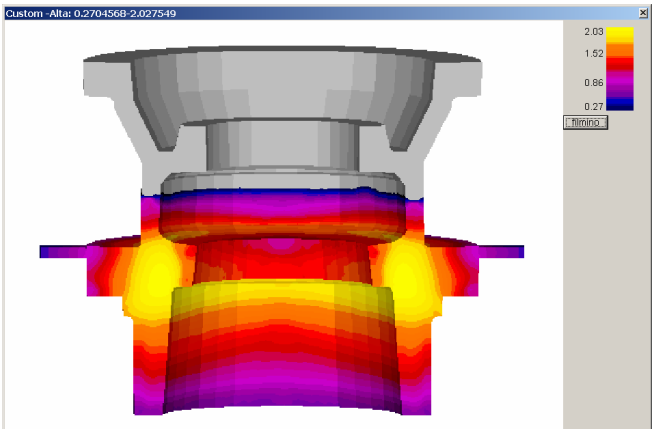


(b)

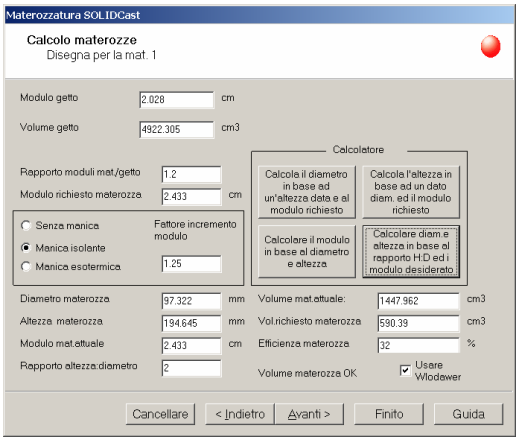
Fig.9 (a) Scelta della sensibilità agli effetti della ricerca delle aree critiche (b) sono state riscontrate 4 aree critiche nel modello precedente

Definizione delle materozze

Una volta che le aree critiche sono state individuate (la più calda in fig.10a), le materozze occorrenti possono essere dimensionate. In questo caso trattandosi di un getto in gs è stato possibile seguendo criteri discussi altrove (2) accorpare tutte le sezioni in quanto un collegamento termico adeguato esisteva fra le altre 3 aree e quella più importante appena illustrata.



(a)



(b)

Fig.10 (a) una delle aree critiche evidenziate dal programma (b) definizione della manica in base ai dati assunti (H:D=2, rapporto di moduli materozza/getto= 1,2) e dei dati del particolare

Poiché conosciamo il modulo ed il volume della sezione da alimentare è relativamente semplice applicare le regole summenzionate con il fine di calcolare le dimensioni corrette della materozza per ogni area critica (10b). Il programma suggerisce a priori un rapporto moduli materozza/getto di 1,2 ma ciò può essere variato. In questo caso data l'entità del modulo massimo (2 cm) è stata scelta una manica isolante; con un rapporto 2:1 (H:D) essa è risultata di 100 mm di diametro. Poiché si è deciso di entrare da due posizioni opposte il calcolo riguarderà ogni singola manica. Per giustificare questa scelta bisogna considerare che il diametro medio nel baricentro termico è ca. 300 mm ed il relativo perimetro di ca. 950 mm.

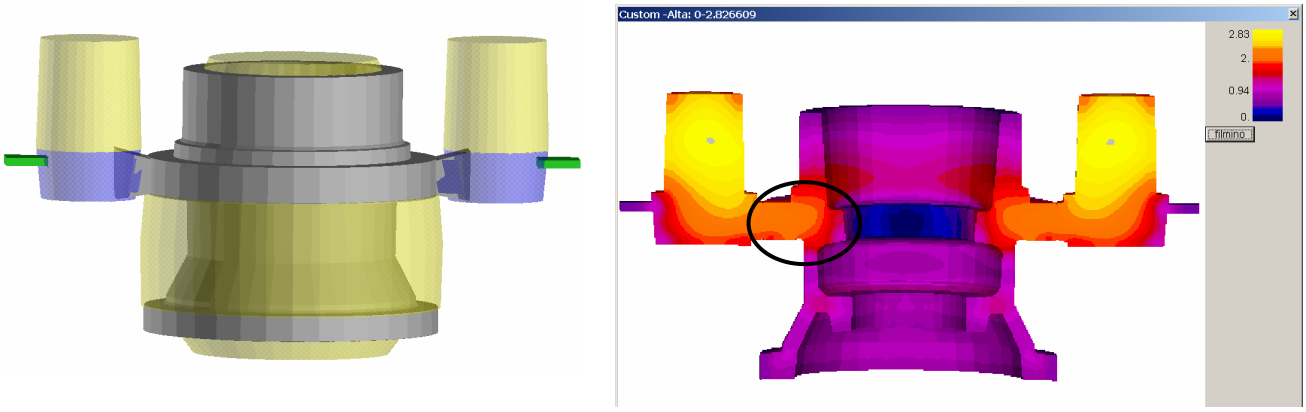
Detto per inciso il sottoprogramma verifica la congruità del volume della materozza in base al ritiro considerato nelle impostazioni di base (4 % in questo caso). Il volume richiesto per la manica è 590 cm^3 e quell'attuale 1.448 $cm^{3.}$ Quindi abbondante e suggerisce la possibilità di alimentare senza difficoltà almeno 2 pezzi. Senza ombra di dubbio questo approccio è molto più preciso e rapido di quello tradizionale ma non esime - una volta definite le materozze ed eventuali conchiglie – dall'eseguire una verifica globale.

Posizionamento delle materozze

Per principio le materozze vanno applicate in vicinanza al punto o punti caldi. Oggettivamente i risultati della simulazione definiscono bene questi punti per ciascuna area e così possiamo sapere anche a priori se il collegamento alla zona o zone critiche sono quanto meno logiche. Naturalmente bisogna tenere d'acconto il piano di divisione, facilità di smaterozzatura, punti di riferimento per le lavorazioni ecc.

Completamento del sistema di alimentazione

La soluzione pensata e quella in fig.11a mentre la situazione dopo simulazione si illustra in fig.11b. Il modello è stato rovesciato per rendere meno calde le giunzioni inferiori. Si noti come il modulo massimo corrispondente alle maniche fornisce un valore di 2,83 cm simile a quanto indicato dai produttori a conferma della buona precisione di calcolo del programma e soprattutto dei coefficienti termofisici adoperati.

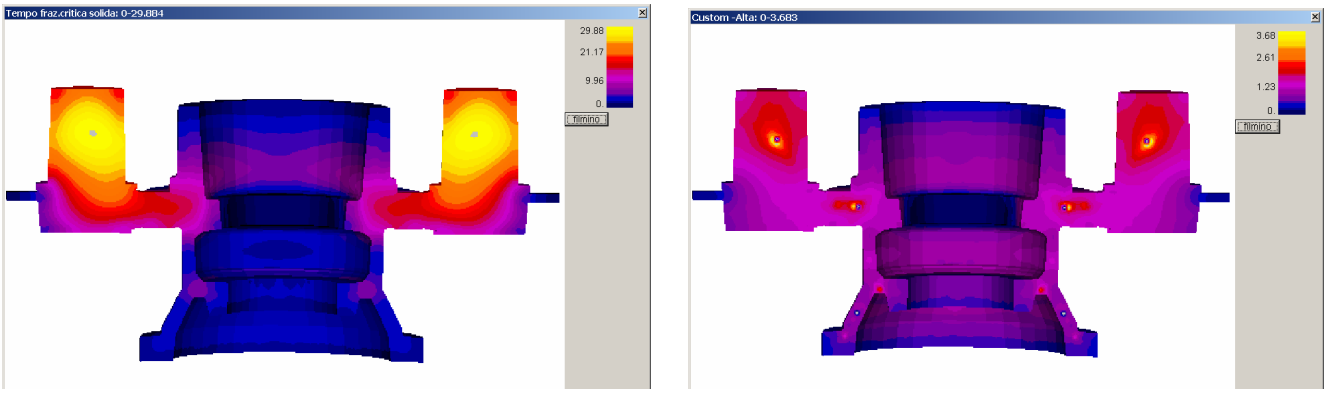


(a) (b)

Fig.11 (a) Il modello (b) l'andamento dei moduli relativo

Si nota una scarsa direzionalità nella zona del collo (sotto il cerchio) in ragione della posizione molto interna del punto caldo. Il rischio può meglio essere valutato con più di un criterio esistenti in simulazione (fig.12). Il primo conferma la mancanza di direzionalità. Quello secondo è sicuramente

più eloquente. La soluzione finale non verrà divulgata ma ha comportato una modifica della flangia adoperata per l'alimentazione. Riteniamo sia più utile il ragionamento fin qui seguito per arrivare alla soluzione.

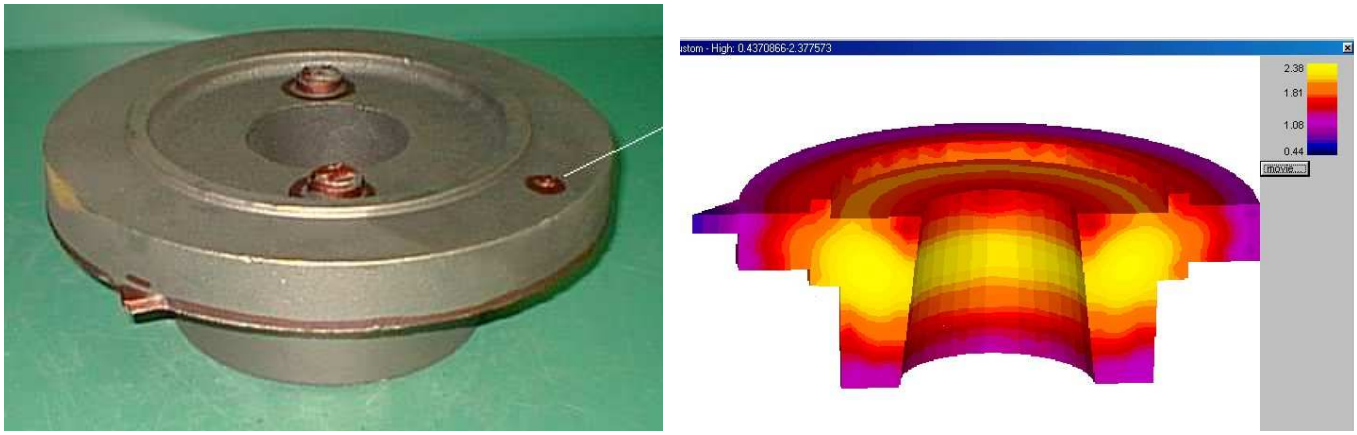


(a) (b)

Fig.12 Criteri (a) frazione critica solida (b) criterio FCC

Altri esempi

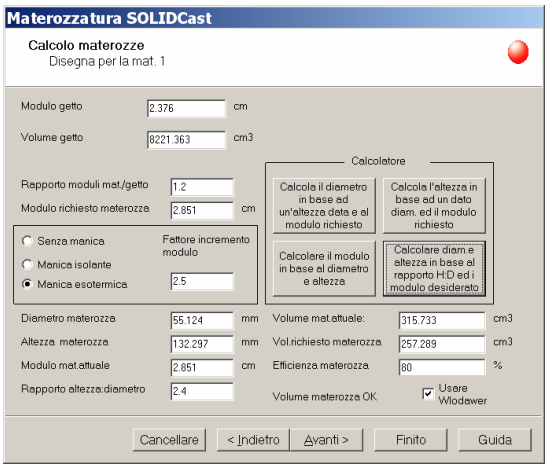
Vedremo sommariamente alcuni altri casi. Il primo riguarda un particolare di ca. 60 kg che aveva un solo ingresso di metallo (fig.13a). La simulazione ha dato i risultati di fig.13b. Il modulo massimo e pressoché uniforme è risultato 2,38 cm, un valore piuttosto alto. Data la posizione del baricentro termico sulla giunzione, gioco forza bisognava pensare all'impiego di una minimanica. La determinazione di quest'ultima si mostra in fig.14a. In questi casi c'è bisogno di modificare il fattore di incremento del modulo che passa da 1,3 a 2,5 (desumibile dalle tabelle dei produttori) oltre che considerare un'efficienza di alimentazione del 80% (minimo 70%).



(a) (b)

Fig.13 (a) Il particolare in esame (b) la simulazione del medesimo

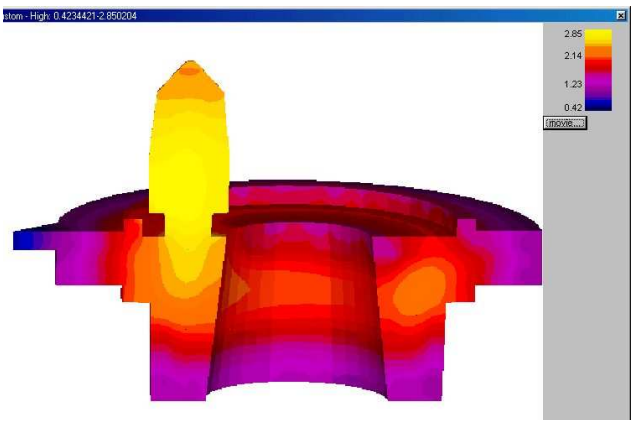
Il programma calcola una minimanica di modulo 2,85 cm e volume di 316 cm^3 (anche se basterebbero 256 cm^3). Quella commerciale più vicina ha un modulo di 2,8 cm (rapporto moduli 1,17) e un volume 276 cm^3 (peso 2,1 kg) che sicuramente fa al caso nostro. Il modello in fig.14b.

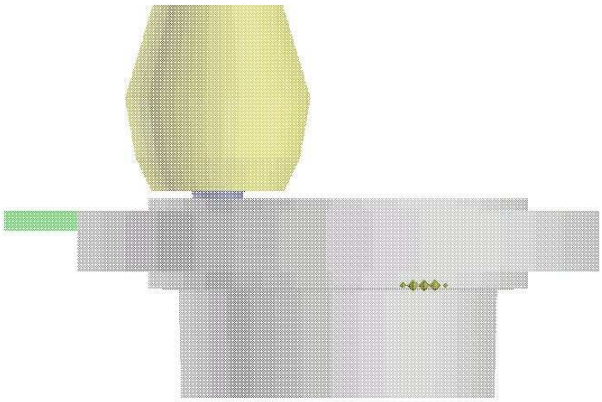


(a) (b)

Fig.14 (a) La determinazione della minimanica (b) il modello completo

I risultati della simulazione si illustrano in fig.15a. Il modulo maggiore 2,85 cm corrispondente a quello della manica coincide benissimo con quello dichiarato dal produttore. La domanda successiva era se una sola minimanica poteva bastare a governare l'intero pezzo. Utilizzando il criterio FCC già menzionato dava esito negativo (fig.15b) per cui si optò per la soluzione a doppia manica.





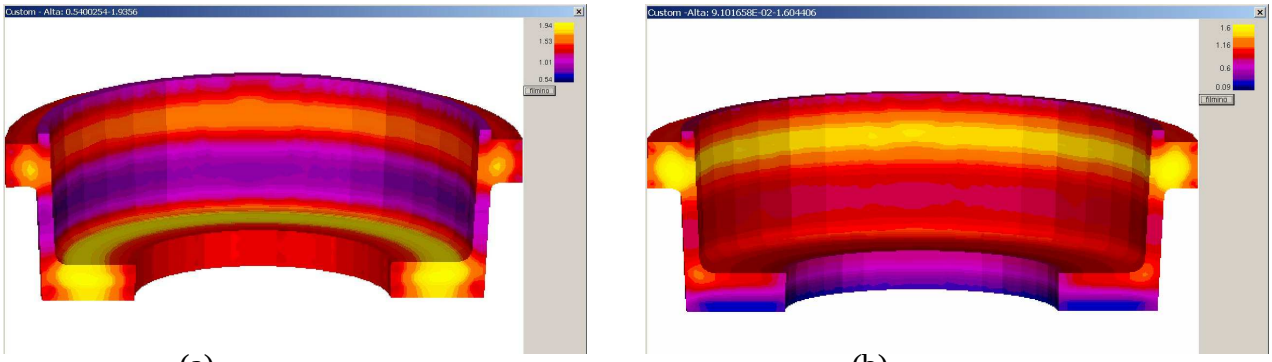
(a) (b)

Fig.15 (a) Simulazione della solidificazione (b) rischio di difetto a 180°

Un caso di conchigliatura

Trattasi di un particolare fatto a mano di ca. 160 kg, di diametro 700 mm che doveva essere prodotto nella posizione illustrata per via dell'anima a cappello (fig.16a in sezione). L'analisi di moduli mostrava un valore di 1,94 cm localizzato nella sezione distante al piano possibile di alimentazione che dava luogo a dei grossi ritiri.

Si decise di valutare la possibilità di conchigliatura. Il risultato in fig.16b. Il modulo maggiore (1,6 cm) ora si trova nella flangia superiore. Il progetto finale si illustra in fig.17a mentre i risultati della simulazione in fig.17b. Trattandosi di forme rigide il discorso di autoalimentazione è meno impegnativo ed è possibile alimentare zone più distanti alle materozze o maniche che siano.



(a) (b)

Fig.16 (a) Panorama dei moduli del articolare in sezione (b) dopo conchigliatura

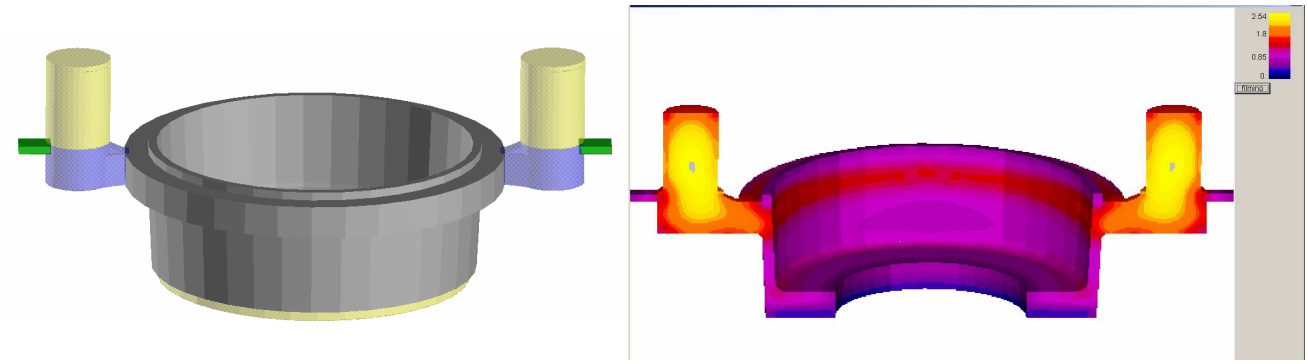
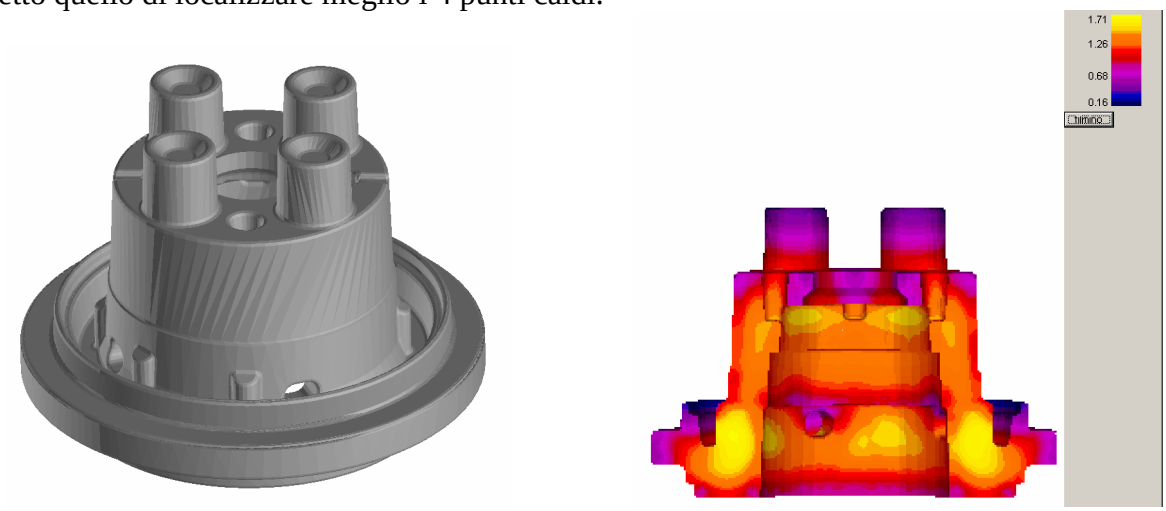


Fig.17 (a) Progetto per l'alimentazione (b) distribuzione dei moduli nel progetto

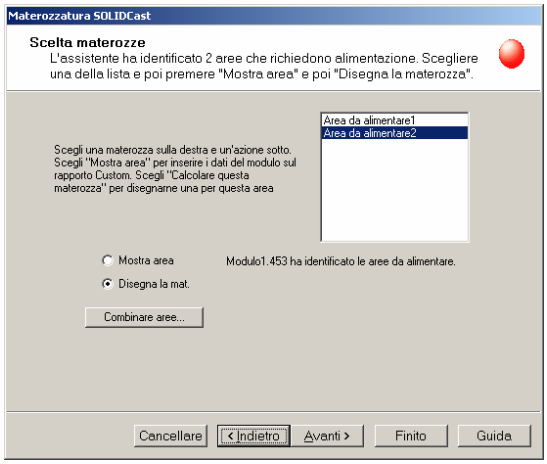
Un ultimo caso riguarda una scatola di 42 kg (fig.18a). La distribuzione dei moduli in fig.18b. A dispetto dell'apparente complessità il programma evidenzia due aree critiche (fig.19a) che corrispondono a moduli discontinui di 1,6 cm in alto e 1,71 cm in basso quindi molto vicini tra di loro. Ciò suggerisce la possibilità di alimentare solo una delle zone. Le borchie superiori hanno per effetto quello di localizzare meglio i 4 punti caldi.



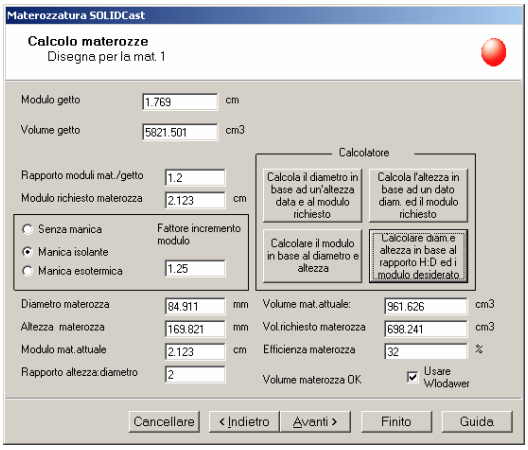
(a) (b)

Fig.18 (a) Il particolare (b) la distribuzione dei moduli (Mmax 1,71 cm)

Viste le dimensioni del particolari e dei moduli, anche qui sarà necessario entrare attraverso 2 maniche laterali. Dopo accorpamento delle due sezioni ***SOLIDcast*** suggerisce una manica di ca. 85 mm che verrebbe portata a quella 90 mm commerciale (fig.19b).



(a)

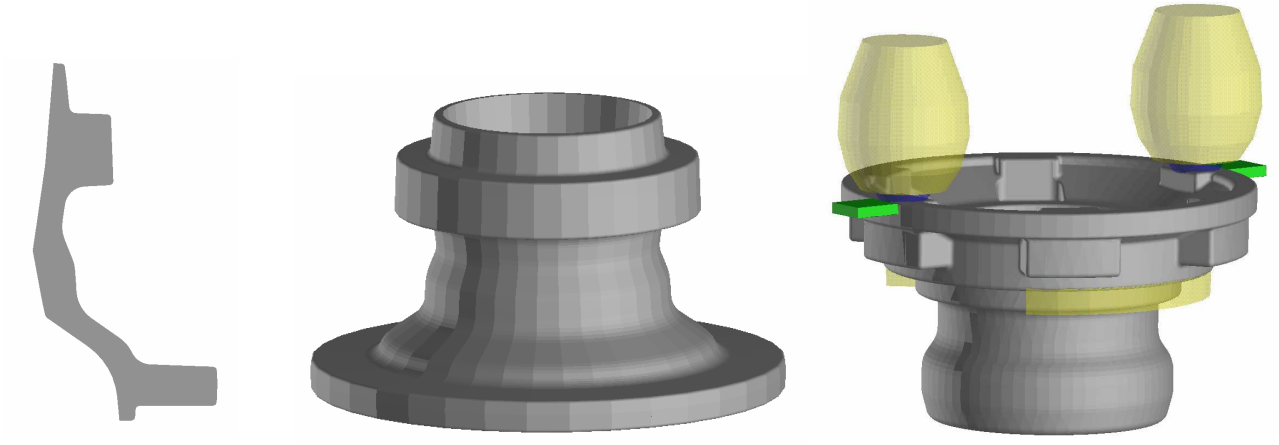


(b)

Fig.19 (a) Definizione delle aree critiche (b) determinazione delle maniche occorrenti

Altre utility

SOLIDCast possiede diverse altre capacità allo scopo di facilitare la costruzioni dei modelli. Per es., è possibile importare disegni 2D e trasformarli in figure 3d per estrusione o rotazione (fig.20a, 20b), creare direttamente sul modello degli attacchi, colli di materozza, ringrossi, conchiglie, maniche e minimaniche da mettere in libreria (fig.20c).



(a) (b) (c)

Fig.20 (a) Profilo 2D dxf (b) risultato 3D (c) un modello con relativi accessori

Negli esempi precedenti abbiamo fatto uso di maniche e minimaniche commerciali. Nel caso specifico di materozze normali anche coniche con dimensioni varie, il programma dispone di una “utility” che permette di costruirle comprensive dal colletto senza bisogno di dovere disegnarle (fig.21).

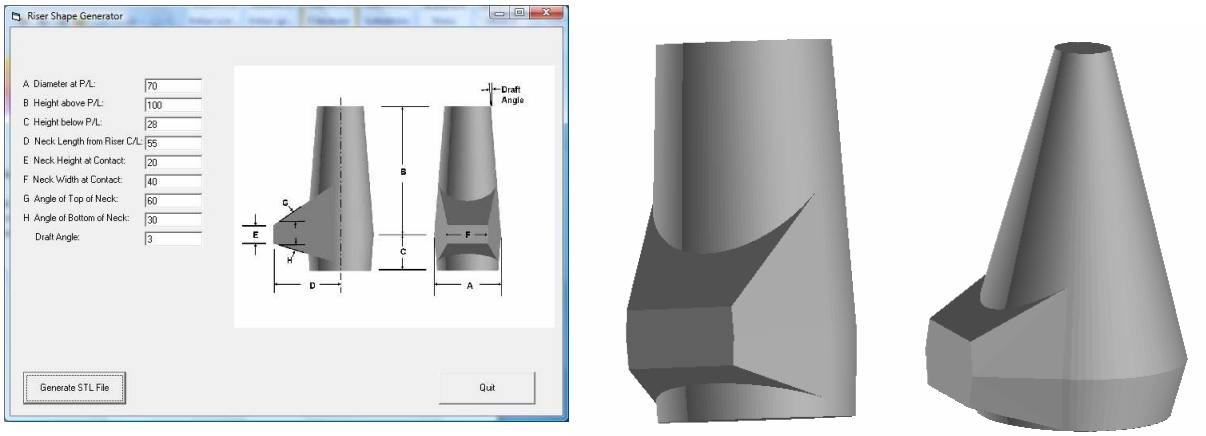
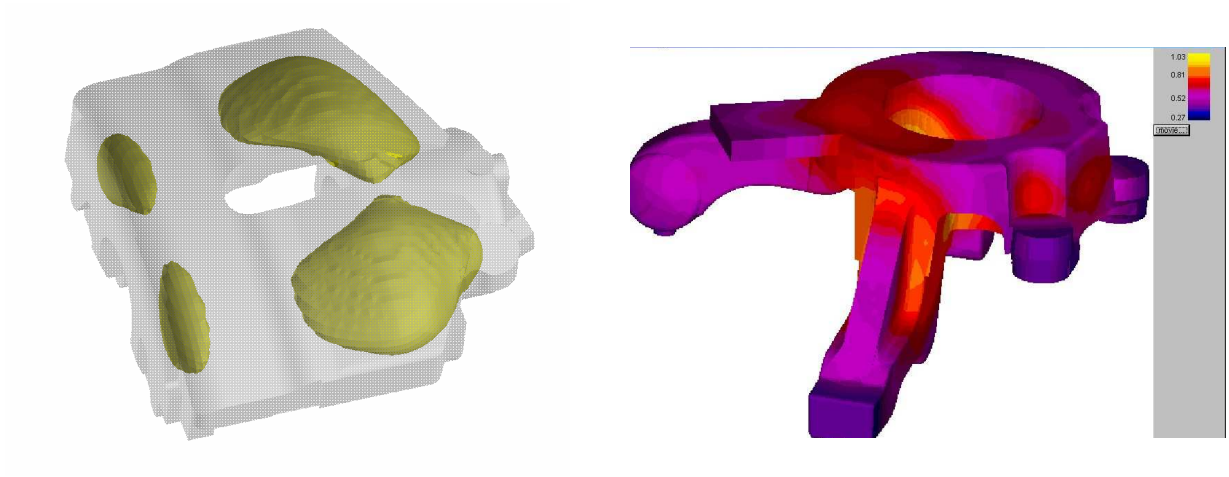


Fig.21 L'utility per la costruzione di materozze e relativi risultati

Anche se i casi qui illustrati hanno riguardato essenzialmente getti di rivoluzione (tra i più impegnativi), l'approccio si applica altrettanto a figure non regolari (fig.22).



(a) (b)

Fig.22 (a) Calliper freno (b) giunto-snodo ruota

Osservazioni e conclusioni

Attraverso l'esposizione si è potuto osservare come utilizzando i risultati della simulazione sia possibile con ***SOLIDCast*** in breve tempo e attraverso dei passaggi logici e ragionati arrivare ad un progetto plausibile senza ricorrere a calcoli, tabelle, grafici o altro. Si può valutare naturalmente anche l'effetto di conchiglie oltre che l'effetto della colata. Indirettamente tali analisi aiutano a meglio definire la divisione del modello in base alle criticità presenti in esso.

Appare anche evidente la immediatezza e relativa semplicità operativa del software, pensato ad agevolare i lavori dell'ufficio tecnico ed incoraggiare l'impiego della simulazione. Non ultimo quando si applica una materozza o materozze o conchiglie si è sicuri che queste siano congrue a priori con il particolare. Logicamente per usare al meglio il software (e non solo questo) è utile conoscere le tecnica di colata e alimentazione.

Riferimenti

(1) J.Alva – “L’impiego dell’analisi termica nell’ottimizzazione delle caratteristiche di ritiro nei bagni in ghisa sferoidale” – Centro studi fonderia Assofond-AIM – Università di Vicenza, ottobre 2001

(2) La solidificazione e alimentazione delle ghise – Dispensa Assofond