

Industria dell'arredamento

Ricerca e ottimizzazione di un pannello sandwich

1. Introduzione

Negli ultimi tempi anche il settore del mobile sta seguendo la strada dell'innovazione, testando nuovi materiali o nuove tipologie di connessione tra elementi pre-finiti. Anche in questo campo la simulazione numerica può diventare uno strumento molto utile, sia per restringere il range di soluzioni possibili sia per ottimizzare il materiale o le caratteristiche globali di un prodotto.

In commercio esistono vari pannelli sandwich, i quali possono essere assemblati tra loro, in modo da formare un prodotto finito destinato al settore terziario oppure residenziale. L'attuale tendenza del mercato predilige, soprattutto nel settore delle costruzioni, un prodotto finito, pronto per la posa e senza i problemi connessi ai collegamenti ed alla compatibilità tra materiali. Infatti, attualmente, la ricerca dei prodotti si è indirizzata verso elementi completi, caratterizzati da una buona qualità ed una buona performance termo-acustica e meccanica, ma anche caratterizzati da un'ottima e variegata finitura estetica.

Sicuramente i pavimenti e le pareti di partizione rientrano in questi prodotti, in quanto molto spesso si ricercano delle finiture gradevoli accompagnate anche da buone caratteristiche termiche-meccaniche. La ditta VoiceTec ha cercato di seguire le richieste di mercato sviluppando un pannello sandwich universale con caratteristiche tali da essere impiegato sia come elemento divisorio che come valida alternativa ai pavimenti galleggianti o privi di riscaldamento a pavimento.

Il presente studio è stato commissionato per ricercare ed ottimizzare un pannello assemblato in grado di avere un discreto comportamento termico e meccanico non tralasciando l'estetica finale. La simulazione viene estesa a diversi tipi di materiale in modo tale da valutarne il comportamento considerando come elemento finale, un pavimento o un divisorio.

2. Descrizione del pannello

Il pannello sandwich in genere è il risultato di un accoppiamento tra lamine di materiale diverso. Il pannello in questione è composto, come si nota in Fig. 2, da uno strato protettivo superiore (Fig. 1) denominato "strato di usura", che ne garantisce l'usabilità, e da uno strato inferiore di rivestimento. Nella mezzera invece viene interposto del materiale termo-isolante, il quale ha il compito di garantire un'adeguata barriera contro il flusso di calore discendente. In genere per elementi utilizzati come pavimento il rivestimento inferiore non è necessario, al contrario degli elementi divisorii in cui ci possono essere diversi tipi di rivestimenti sulle varie parti del pannello.

Il materiale di rivestimento superiore (pavimento) ed inferiore è composto da una lamina in PMMA/ABS la quale conferisce alla superficie un'ottima resistenza all'usura derivata ad esempio da calpestio, mentre il nucleo della struttura di supporto è composta da materiali multistrato in legno, i quali garantiscono rigidità al pannello aumentandone per i pavimenti, la planarità diffondendo in modo appropriato, il carico superiore. Il materiale isolante invece può variare a seconda dell'impiego e sarà determinato secondo i materiali disponibili sul mercato.

Per le caratteristiche termiche degli elementi ci si avvale delle indicazioni riportate nella norma UNI 10351. Per i materiali i cui dati fossero di difficile reperimento si è fatto riferimento alla norma UNI EN ISO 10456 oppure a prove di laboratorio condotte su singoli campioni di materiale. In base

Nel presente lavoro si riporta il processo di simulazione numerica effettuata al fine di valutare le prestazioni energetiche-meccaniche ed i componenti di un pannello sandwich per il settore dell'arredamento. L'elemento può essere impiegato in svariati modi, ma in questo caso si analizza il suo comportamento termico per l'impiego come materiale di finitura per pavimenti di tipo galleggiante, per rivestimenti interni in riqualificazioni generali oppure divisioni in ambienti open-space nel settore direzionale.

A cura di **Ennio Casagrande** – consulente tecnico esterno VOICE TEC Srl, Susegana (TV)



Fig. 1 - Rifinitura di alcuni pannelli.

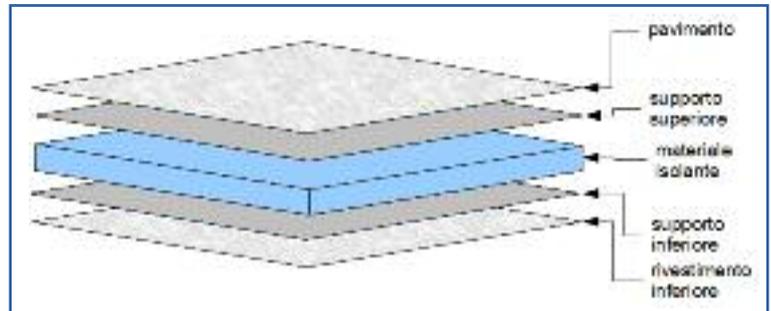


Fig. 2 - Topologia stratigrafica del pannello sandwich.

Materiale	Densità ρ (kg/m^3)	Conduttività λ_m (W/mK)
Ara in quiete	1,3	0,03
PMMA	1190	1,9
ABS	1070	0,15
Multistrato truciolare	500	0,13
Multistrato MDF	800	0,12
Polistirene	20	0,05

Fig. 3 - Caratteristiche materiali utilizzati.

a quanto esposto, per l'analisi sono stati considerati i seguenti materiali reali (Fig. 3).

Per definire la stratigrafia base è stato compiuto, preliminarmente un'analisi di ottimizzazione delle singole composizioni cercando la conformazione base che rispetta sia le esigenze costruttive sia le esigenze meccaniche e termiche desiderate.

3. Flusso di lavoro

La risoluzione del problema è stata affrontata preventivamente seguendo uno schema a flusso, con il quale è stato possibile effettuare le analisi con una certa logica costruttiva conseguente la scarsità di informazioni disponibili nel settore.

Prima di effettuare le operazioni connesse all'analisi numerica, è stato individuato come obiettivo del problema l'analisi termica del pannello simmetrico adibito, in questo caso a pavimento oppure a parete di divisione. Infatti, per questo tipo di problema, l'analisi in condizioni di regime stazionario è parso il più adatto, in quanto il dato fondamentale da ricercare è la trasmittanza termica, per cui può essere considerata valida l'ipotesi di istantaneità di trasmissione tra i lati del pannello. Tale semplificazione non può essere invece presa in considerazione qualora si volesse indagare il comportamento dell'elemento nel regime estivo, in quanto le condizioni al contorno esterne variano nel tempo e quindi la soluzione al problema deve essere ricercata attraverso analisi termiche in regime dinamico.

In Fig. 4 è stato riportato il diagramma di flusso logico seguito con cui è stata effettuata la simulazione numerica. Il lavoro è stato suddiviso per semplicità in due, seppur connessi, flussi di lavoro. Nella prima parte, infatti, il pannello è stato sottoposto ad un processo di ottimizzazione, basato per lo più su analisi grafiche ricreate con la piattaforma Scilab [1]. Si precisa comunque che i due flussi di lavoro sono stati opportunamente divisi in quanto l'obiettivo dell'ottimizzazione impo-

Fig. 4 - Flow chart del metodo di analisi.

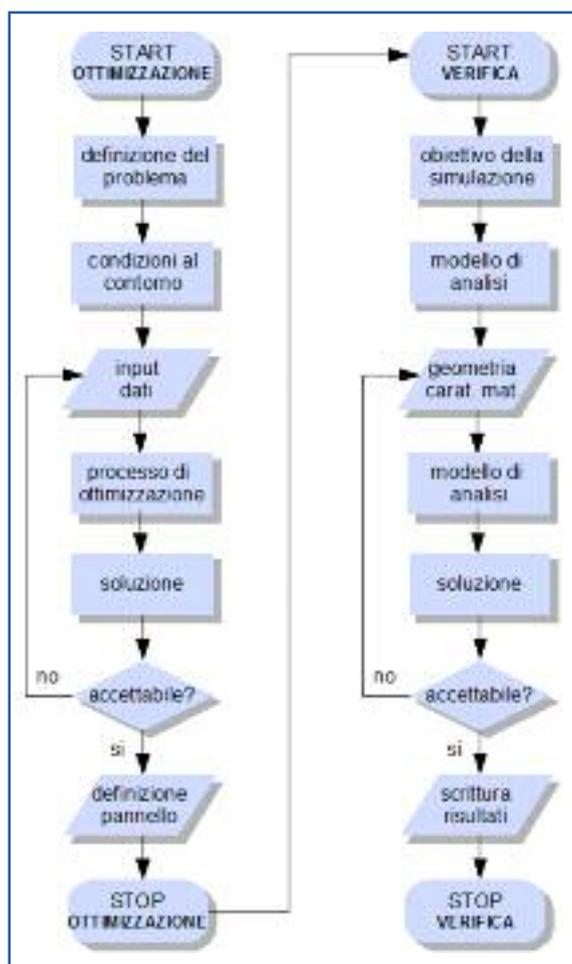
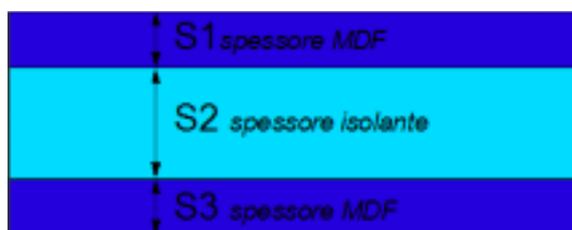


Fig. 5 - Definizione geometrica per il processo di ottimizzazione.



sto era abbastanza specifico, per cui è stato possibile in parte, scindere le due analisi. Effettuato il processo di ottimizzazione sul pannello standard, è stato successivamente condotta un'analisi termica del prototipo utilizzando il software commerciale LISA 7.6 [2] in modo tale da validare il processo iniziale.

4. Processo di ottimizzazione

Il processo di ottimizzazione del pannello è stato condotto attraverso la simulazione grafica, metodo veloce e molto utile qualora i parametri da ottimizzare siano contenuti e definiti. Una prima analisi è stata effettuata prendendo in considerazione, per motivi di lavorazione, due strati di supporto rigido (MDF) e uno strato interno di isolante, composto da poliestere; nella fase preliminare lo spessore degli strati di MDF viene considerata uguale sia per la faccia superiore che per la faccia inferiore.

L'ottimizzazione termica di un pannello multistrato con una geometria rappresentata in Fig. 5 può essere ricondotta al calcolo della trasmittanza termica attraverso gli elementi di spessore S_1 , S_2 , S_3 secondo la seguente formula:

$$U_{\text{standard}} = 1/R_{\text{total}} = 1/(R_{\text{ext}} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{\text{int}}) \quad (0.1)$$

Considerando che la resistenza termica è data dal rapporto tra lo spessore dell'elemento e la sua conducibilità termica, l'espressione (0.1) diventa:

$$U_{\text{standard}} = 1/R_{\text{total}} = 1/(R_{\text{ext}} + S_1/\lambda_1 + S_2/\lambda_2 + S_3/\lambda_3 + R_{\text{int}}) \quad (0.2)$$

Come anticipato in precedenza, preliminarmente si considerano gli spessori dei due strati estremi uguali, per cui l'espressione (0.2), diventa una funzione in due variabili anziché in tre variabili.

$$U_{\text{standard}} = 1/(R_{\text{ext}} + S_1/\lambda_1 + S_2/\lambda_2 + S_1/\lambda_1 + R_{\text{int}}) \quad (0.3)$$

La relazione (0.3) può essere riscritta nella forma classica delle funzioni matematiche, qualora alle variabili S_1 e S_2 si sostituiscono rispettivamente le classiche variabili di funzione X , Y :

$$z(x, y) = 1/(R_{\text{ext}} + x/(2 \cdot \lambda_1) + y/\lambda_2 + R_{\text{int}}) \quad (0.4)$$

L'espressione (0.4) rappresenta la funzione obiettivo per il processo di ottimizzazione, ovvero la funzione da minimizzare. Come ogni processo di questo tipo, la ricerca delle condizioni di ottimo devono essere "guidate" in base alle necessità costruttive, economiche, di lavorazione ecc. In questo caso le condizioni vincolanti erano imposte dall'impianto di produzione, il quale, per motivi tecnici ed economici, può lavorare pannelli con dimensioni massime pari a circa 50 mm e dalle dimensioni massime previste degli elementi MDF e poliestere (isolante).

Considerando quindi quanto esposto, il processo di ottimizzazione si riconduce a quanto riportato in (0.5) ovvero alla minimizzazione della trasmittanza considerando la serie di vincoli di produzione. Per semplicità numerica, è stato scelto di porre come funzione obiettivo la resistenza termica anziché la trasmittanza.

$$\begin{aligned} \text{massimizzare } f(S_1, S_2) &= R_{\text{ext}} + S_1/\lambda_1 + S_2/\lambda_2 + S_1/\lambda_1 + R_{\text{int}} \\ 2 \cdot S_1 + S_2 &\leq 0.05; \\ 0.008 < S_1 &\leq 0.05; \end{aligned} \quad (0.5)$$

Il processo di ottimizzazione più consono al problema è risultato essere quello grafico, infatti attraverso la piattaforma Scilab è stato potuto rappresentare per via grafica la funzione da minimizzare e i relativi vincoli riportati nelle espressioni (0.5).

Nella Fig. 6 è stato riportato il dominio di soluzioni possibili riferite alle funzioni di vincolo. Come si nota dalle immagini, il piano colorato di blu rappresenta lo spessore del pannello per diverse combinazioni di MDF e poliestere, mentre il piano tracciato in rosso rappresenta il vincolo di massimo spessore. L'intersezione quindi dei due piani rappresenta la linea limite tra soluzioni ammissibili e non ammissibili. Per ricavare il valore definito "ottimo" è stato successivamente preparato uno script in linguaggio Scilab in grado di rap-

presentare con apposita mappa a colori l'andamento della resistenza termica in funzione degli spessori. Nella Fig. 7 è stato riportato l'andamento della resistenza termica per diverse configurazioni di strati. Osservando l'immagine si nota come la resistenza termica sia massima nell'estremo destro superiore, coincidente con lo spessore massimo dei componenti e minima all'estremo sinistro inferiore, punto in cui gli spessori degli strati sono minimi. Nel grafico sono stati riportati anche le linee di frontiera corrispondenti a valori di resistenza termica costante.

Al grafico riportato in Fig. 7 è stato sovrapposto la linea di frontiera che identifica le soluzioni ammissibili ovvero quelle possibili combinazioni il cui spessore totale del pannello risulta minore dello spessore massimo consentito. Si osservi come la massima resistenza termica del pannello si ricava massimizzando la larghezza dell'isolante, infatti avendo quest'ultimo una resistenza termica elevata, la soluzione ottimale non può essere posizionata altrove.

Le soluzioni ricavate dal processo di ottimizzazione devono comunque essere sottoposte a valutazione di carattere pratico, in quanto i materiali base vengono commercializzati con spessori standardizzati e il pannello deve garantire anche un'adeguata rigidità nei confronti di eventuali urti oppure accessori, come puntine chiodi ecc.. In base a quanto sopraccitato il valore prossimo che più si avvicina al valore "ottimo", compatibilmente con gli spessori in commercio, è la terna di valori 10+30+10 mm, ovvero due strati di MDF con spessore pari a 10 mm ed un singolo strato di poliestere con spessore pari a 30 mm.

In questo caso, lo spessore di MDF interno ed esterno risulta, per le ipotesi effettuate, uguale. In pratica però, la lamina esterna, sottoposta ad usura, tagli ecc dovrebbe essere molto più resistente della parte interna, ne risulta che gli strati esterni devono essere per forza diversi. Secondo quanto riportato quindi, per l'MDF esterno si adotta uno spessore pari a 12 mm mentre per la lamina interna si opta per uno spessore pari a 8 mm. Con le ipotesi effettuate, la resistenza termica del pannello risulta pari a circa 0,98 K/W ovvero pari ad una trasmittanza termica di circa 1,02 W/(m² K).

5. Simulazione numerica

In questa sezione il pannello sandwich verrà sottoposto ad una simulazione numerica, attraverso l'utilizzo del codice di calcolo LISA, con il fine di valutarne il comportamento nelle strutture edilizie ordinarie.

Nella simulazione sono stati considerati due tipi di soluzione: la prima prevede un solaio in predalle intonacato nell'intradosso e finito con un massetto in calcestruzzo e un pavimento in legno all'estradosso. La seconda soluzione, invece, si compone del solaio predalle rifinito con il pannello Voicetec per pavimenti. La discretizzazione del dominio è riportata nella Fig. 8 dove si possono notare i blocchi di alleggerimento, la struttura e la finitura dell'elemento edilizio.

Nella Fig. 9 è stata riportata l'andamento della temperatura per il solaio rifinito con massetto e pavimento, mentre la Fig. 10 si riferisce al solaio con pannello di finitura. Si può osservare come la presenza del materiale isolante nel pannello per un flusso di tipo discendente, cambi completamente l'andamento della temperatura nell'intera struttura opaca. Considerando quindi uno spessore del massetto e pavimento finito pari a circa 65 mm ed un pannello finito con spessore pari a circa 50 mm è possibile confrontare anche il flusso di calore attraverso la struttura. Infatti in Fig. 11 è stato riportato l'andamento del flusso di calore per la soluzione con massetto-pavimento, mentre in Fig. 12 è stato riportato il flusso di calore per la soluzione con pannello. Si può osservare come la presenza del pannello riesca nella Fig. 12 ridurre drasticamente il flusso di calore pari a circa la metà.

Dal calcolo eseguito si può notare che la struttura edilizia rifinita con il nuovo pannello subisca un sostanziale miglioramento delle caratteristiche termiche rispetto al solaio rifinito con il classico massetto-pavimento.

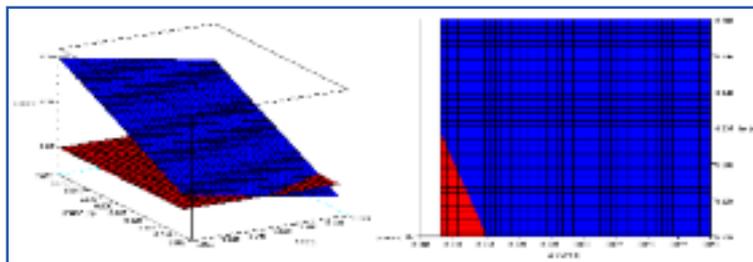


Fig. 6 - Dominio di soluzioni delle funzioni di vincolo (3D e 2D).

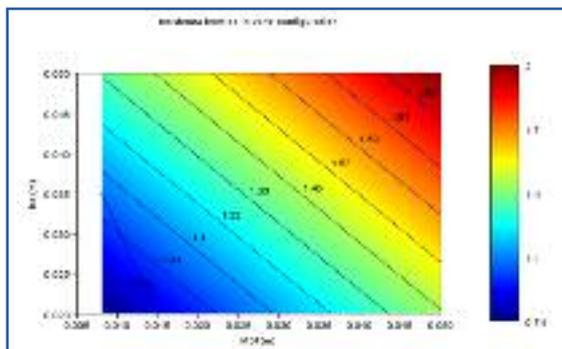


Fig. 7 - Andamento della resistenza termica per diverse configurazioni.

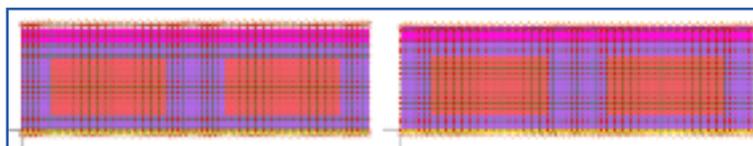


Fig. 8 - Discretizzazione solaio con massetto-pavimento e pannello sandwich.

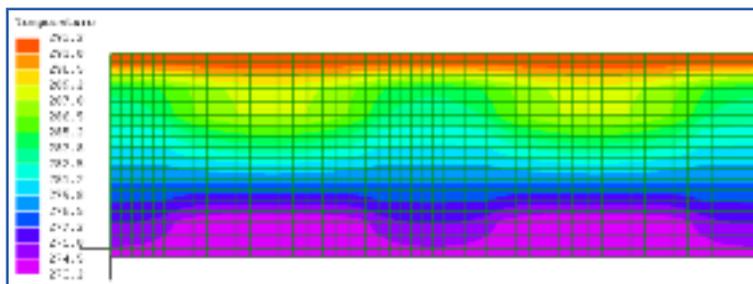


Fig. 9 - Andamento della temperatura per il solaio con massetto-pavimento.

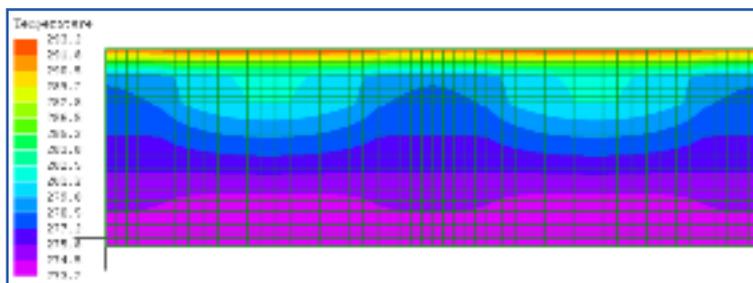


Fig. 10 - Andamento della temperatura per il solaio con pannello.

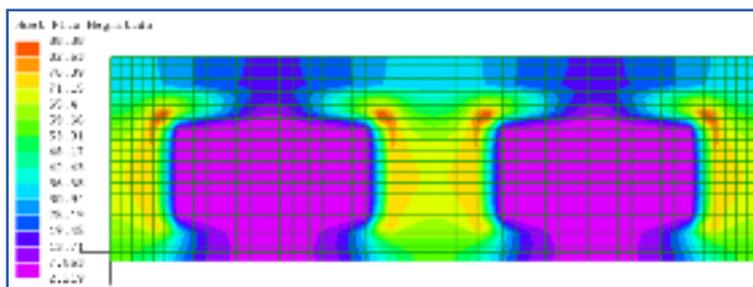


Fig. 0.11 Flusso di calore per il solaio con massetto-pavimento

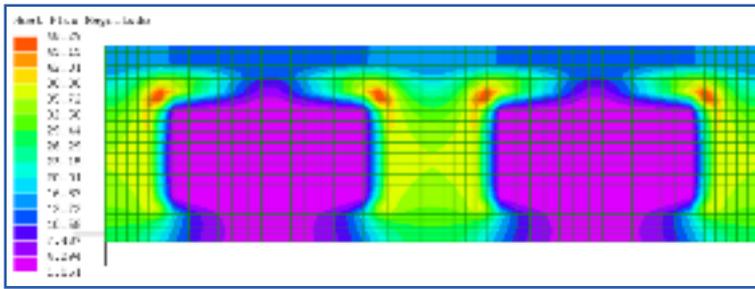


Fig. 12 - Flusso di calore per il solaio con pannello.

6. Conclusioni

Nel presente lavoro è stato presentato il processo di ottimizzazione termica di un pannello multistrato per l'utilizzo nel settore del mobile. Dopo aver presentato il processo per ottenere la stratigrafia ottimale, sono stati riportati alcuni risultati relativi all'applicazione del pannello come pavimento pre-finito. A parità di spessore, l'utilizzo di tale soluzione permette di diminuire il flusso di calore nella struttura opaca, migliorando le caratteristiche termiche diventando una valida alternativa, nei contesti in cui l'utilizzo di metodi tradizionali per le rifiniture non sono applicabili.

Contatti:
info@voicetec.it
ennio.casagrande@gruppcasagrande.it

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Scilab 5.2, Consorzio Scilab, 2009.
- [2] Lisa 7.6.0. LISA-Finite Element Technologies, 2011.

NOTE SULL'AZIENDA

VOICE TEC è una azienda italiana che offre una vasta gamma di collezioni di pannelli innovativi in acrilico di alta qualità. Tra le più importanti, la collezione anti-graffio, lucido e opaco e la collezione in acrilico goffrato per mobili componibili, porte interne, contract, ecc. (www.voicetec.it)

NOTE SULL'AUTORE

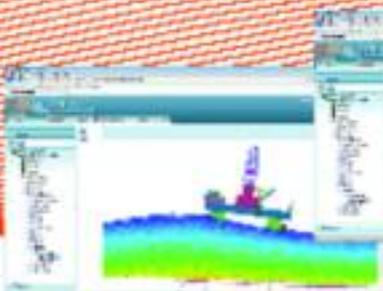
Ennio Casagrande, ingegnere, si occupa di progettazione strutturale e simulazione numerica nel campo dell'ingegneria civile ed industriale. Collabora attivamente con VOICETEC per lo sviluppo e l'ingegnerizzazione di prodotti innovativi.



Virtual Prototyping Solutions

Supporting your engineering decisions throughout the supply chain

OIL & GAS



Assess design performance & structural integrity



Define, verify & validate specifications



Optimize manufacturing processes & quality



Manage simulation models & physical workflow

www.esi-group.com/energy/oil-and-gas |
 www.esi-tel.it