



# Monitoraggio e Simulazione del Processo di Stampaggio ad Iniezione

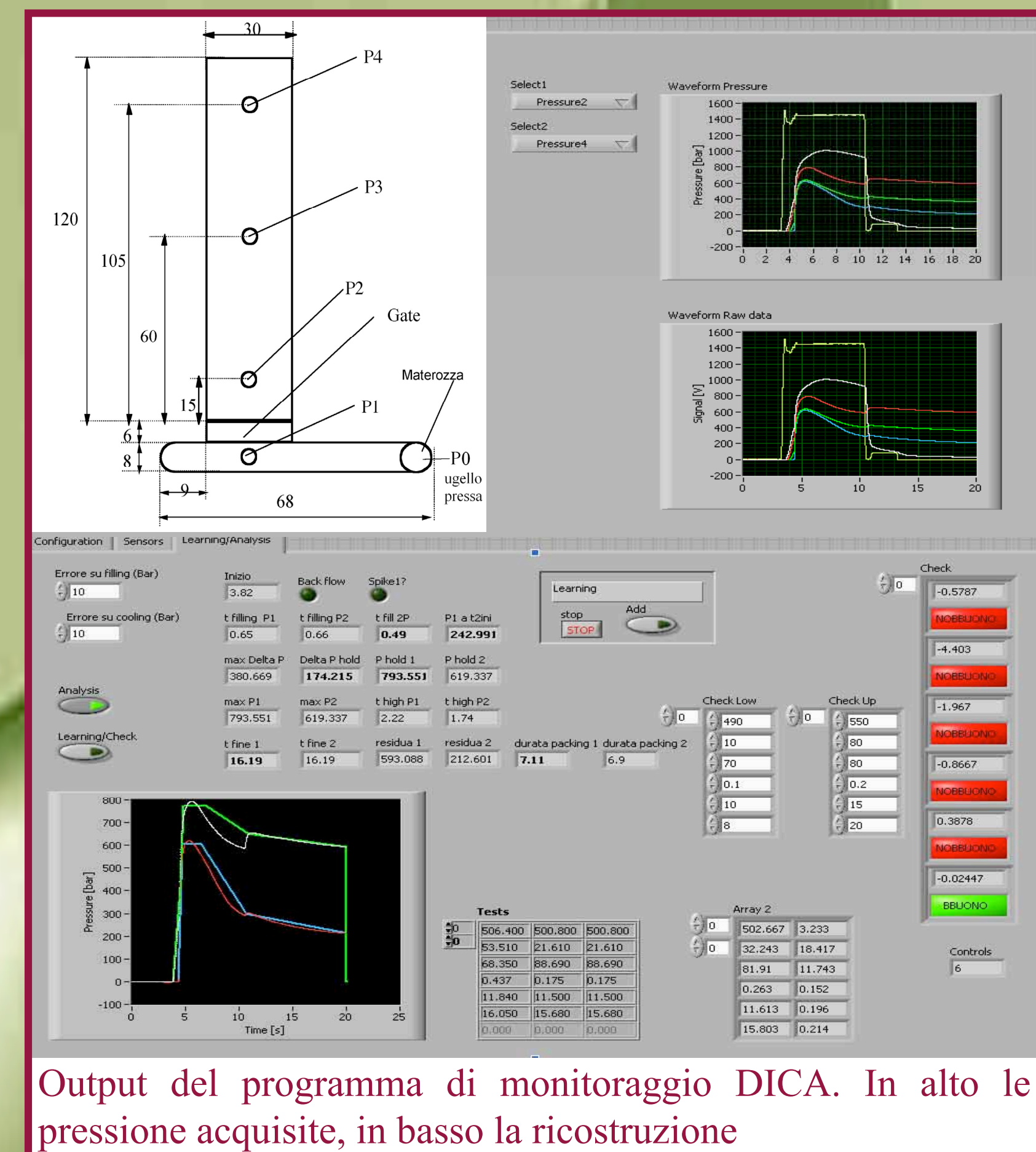


www.polymertechnology.it

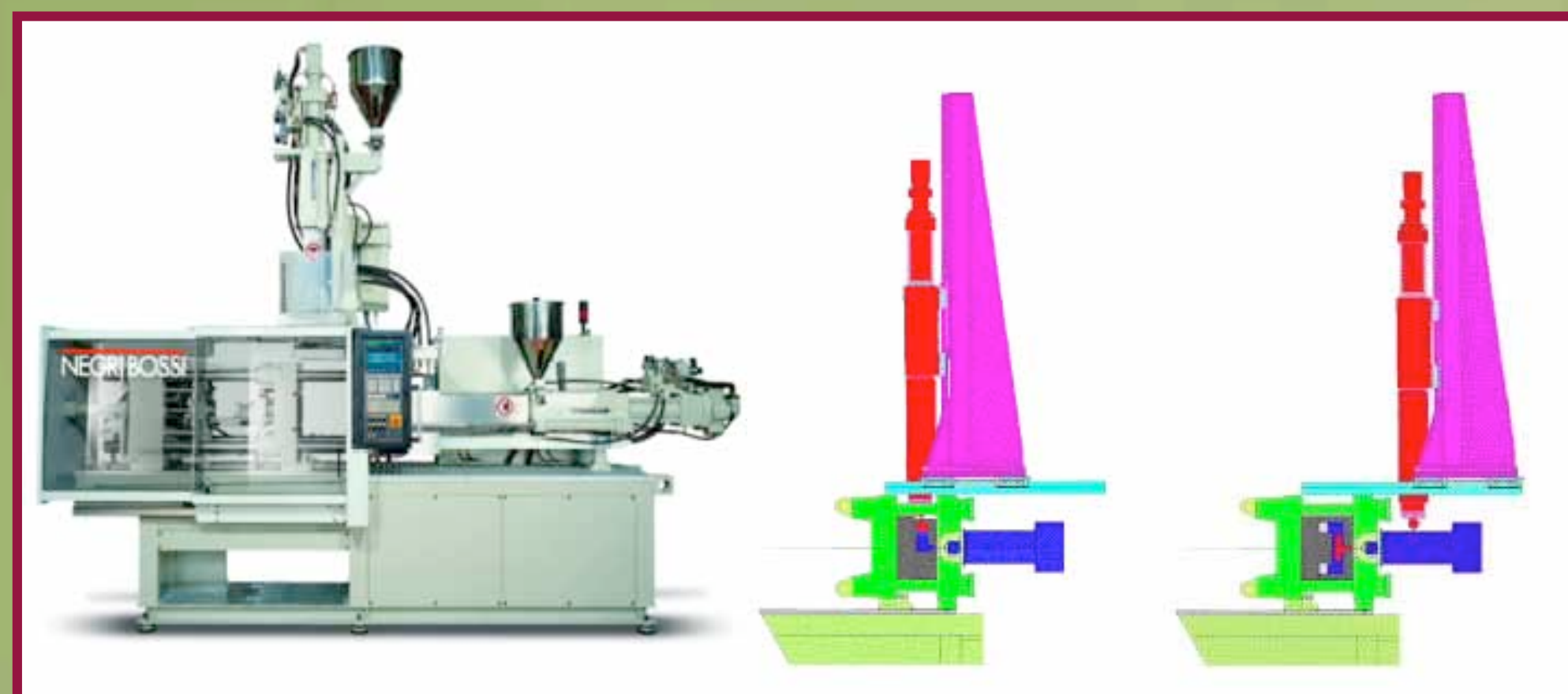


**SOFTWARE DI MONITORAGGIO DICA.** Lo stampaggio a iniezione dei materiali termoplastici è la tecnologia più diffusa nella trasformazione delle materie plastiche. Si producono, in modo discontinuo, pezzi di forma e dimensioni diverse e dal peso variabile da pochi grammi a svariati chili. Vantaggi del processo sono la possibilità di produrre pezzi finiti, anche con geometrie complesse, o pezzi di dimensioni molto piccole, con elevata produttività e bassi costi di produzione, elevata automazione dei processi. Inoltre stampi e presse possono essere utilizzati con materiali plastici diversi, e vi è la possibilità di stampare in accoppiamento con inserti metallici, produzione di manufatti con diversi colori e materiali. Gli svantaggi sono legati ai costi elevati degli stampi e delle presse, ma soprattutto fissati che siano il materiale e lo stampo da utilizzare, la riproducibilità di un ciclo di stampaggio (e dunque del manufatto) che dipende in maniera estremamente complessa dalle variabili di processo imposte (tempi, pressioni, portate e temperature) ma anche da fattori extra-operativi (presse diverse stampano in modo diverso, anche a parità di stampo).

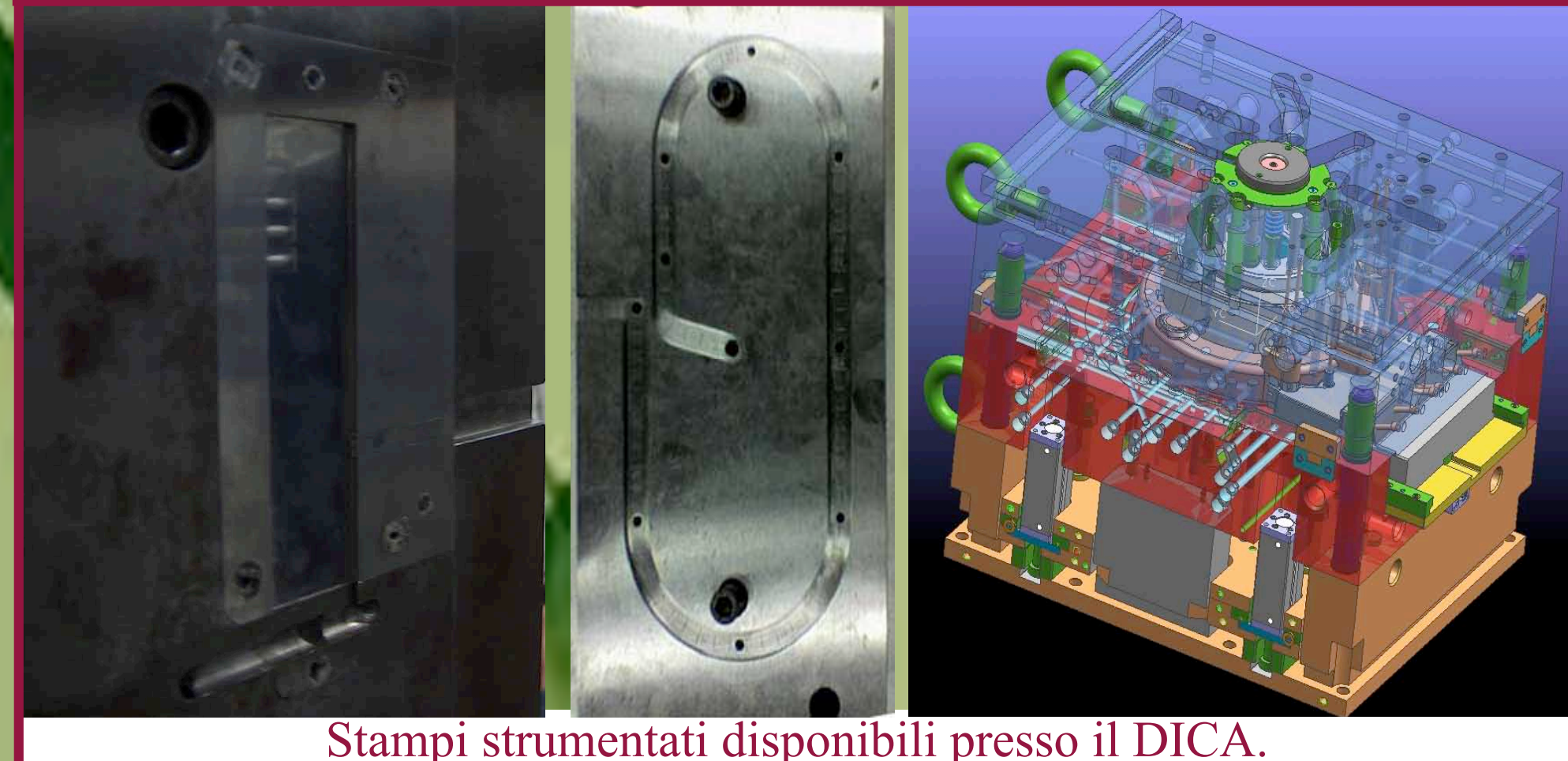
Sin dagli anni '90 i ricercatori che attualmente collaborano con il DICA hanno evidenziato che le caratteristiche finali del pezzo stampato quali morfologia, ritiro e deformazione, peso accurato dimensionale e che determinano la qualità del pezzo finale sono strettamente dipendenti dalla storia termo-meccanica che il materiale subisce nello stampo durante il processo. Queste conclusioni sono state raggiunte sia analizzando la morfologia ed il ritiro di provini stampati con materiali amorfi e semi-cristallini sia analizzando le curve di pressione e temperatura acquisite in cavità durante le prove di stampaggio. L'esperienza acquisita nel campo del monitoraggio consente quindi al DICA di svolgere attività di ricerca per avere un processo di stampaggio più efficiente e con prodotti finali di qualità più elevata. Fissato che siano il materiale e lo stampo per garantire la qualità del pezzo e la riproducibilità del processo è indispensabile la scelta del tipo di variabili da monitorare e della sensoristica da utilizzare per il monitoraggio nonché individuare il numero minimo di punti di misura da utilizzare. Anche determinante è l'individuazione del tipo di analisi dei segnali monitorati che consenta di garantire un'adeguata riproducibilità del processo di stampaggio. Lo sviluppo di software di acquisizione ed analisi dei segnali monitorati in grado di segnalare all'operatore quando una stampata si discosti da una prefissata condizione operativa nonché di segnalare possibili cause/soluzioni per tale scostamento. La principale differenza tra i software attualmente in commercio e quello proposto dal DICA consiste nell'approccio utilizzato per determinare la riproducibilità di un ciclo di stampaggio. Nel caso dei software commerciali ci si basa essenzialmente su una analisi di tipo statistico della riproducibilità delle curve monitorate mentre nel software del DICA l'accento è posto sull'analisi e sull'interpretazione delle curve di pressione in cavità che permettono di identificare la storia termo-meccanica del materiale in cavità. Il sistema di monitoraggio sviluppato (composto dal sistema di acquisizione e dal software di analisi) può essere sottoposto dal DICA a prove di convalida della attendibilità, robustezza ed affidabilità sia utilizzando curve di segnali sperimentali che simulati.



Output del programma di monitoraggio DICA. In alto le pressioni acquisite, in basso la ricostruzione

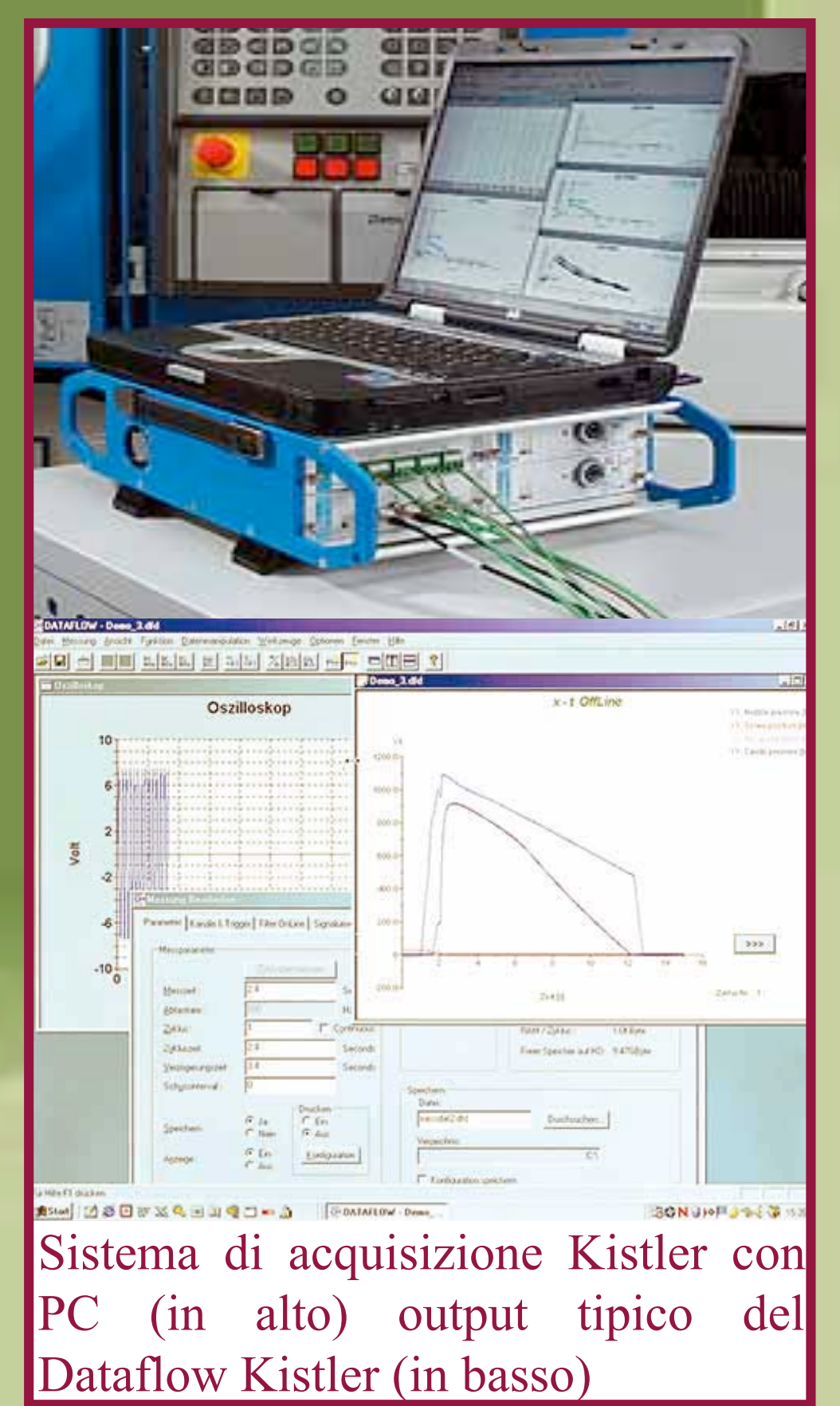


Pressa ad iniezione disponibile presso il DICA (a sinistra) per processi di biiniezione (al centro) e di coiniezione (a destra).



Stampi strumentati disponibili presso il DICA.

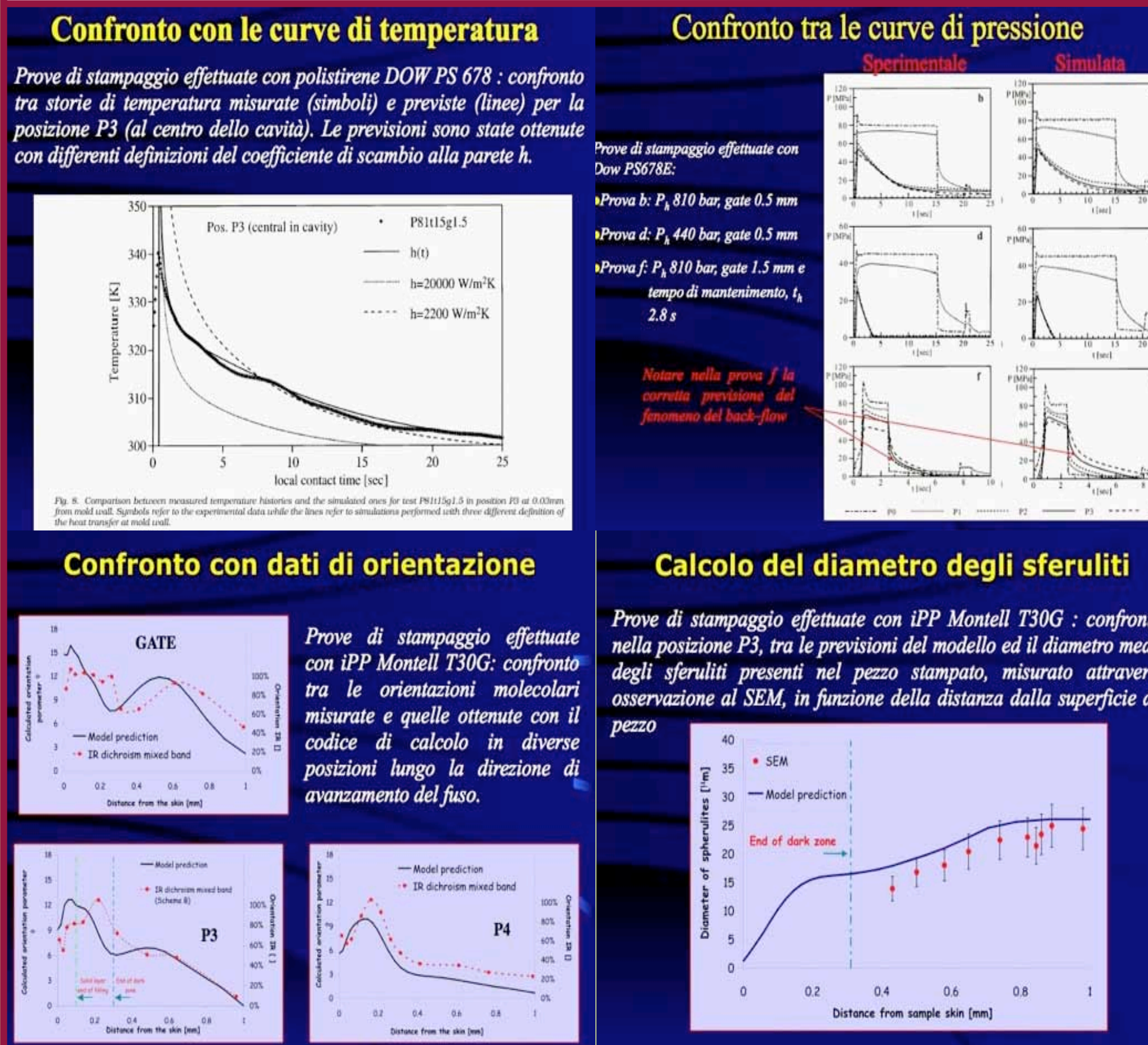
**SISTEMA DI ACQUISIZIONE DICA.** I confronti con i dati sperimentali possono essere effettuati sia presso i laboratori del DICA che presso le aziende. Nei laboratori del DICA è presente una pressa da stampaggio Negri-Bossi da 70 tonnellate, della serie CANBIMAT. La pressa ha due iniettori: uno verticale con una capacità di plastificazione di 46ccm e una pressione massima di 2000bar; l'altro orizzontale, con una capacità di plastificazione di 73ccm e una pressione massima di 2100bar. L'iniettore verticale può passare dalla zona iniezione alla zona stampo, così da realizzare sia il processo di co-iniezione che quello di bi-iniezione. Si tratta di una pressa industriale, sebbene di piccole dimensioni, su cui possono essere montati stampi di prova. La pressa è inoltre equipaggiata con una centralina gas in grado di realizzare lo stampaggio di schiume e quindi ottenere i cosiddetti "espansi strutturali" manufatti che hanno una superficie compatta, ma una parte interna schiumata e consentono una considerevole riduzione di peso (fino al 30% circa) senza una grossa perdita di proprietà meccaniche. Sulla pressa è possibile montare sia stampi strumentati sviluppati dal DICA (stampo per iniezione singola di geometria rettangolare, stampo di geometria rettangolare per co-iniezione o bi iniezione, stampo a spirale per prove di stampabilità) sia stampi di prova strumentati forniti dalle aziende. Su tutti gli stampi del DICA sono installati sensori di pressione e temperatura della Kistler (serie 6190CA2) (di 4 mm di diametro, e 8 mm di lunghezza). Essi hanno il vantaggio di poter misurare con un solo sensore sia la pressione (misura capacitiva, rapporto di Sensibilità pC/bar ≈ 9), che la temperatura, in un intervallo ampio di valori (0÷200 [°C] per la temperatura, 0÷2000 [bar] per la pressione). Inoltre in corrispondenza dell'ugello della macchina è stato previsto un sensore di pressione in modo da avere informazioni complete sulla storia di pressione del fuso anche a monte del gate. Tutti gli stampi sono collegabili ad un sistema di condizionamento del segnale della Kistler che consente di trasferire i segnali di pressione e temperatura misurati nelle posizioni in cavità su una scheda di acquisizione, collegabile ad un computer portatile per la lettura e la registrazione dei dati riguardanti le misurazioni, e che opera su su 64 canali di acquisizione. Il tutto viene gestito attraverso il programma DATAFLOW della Kistler che consente sia la visualizzazione delle evoluzioni dei segnali acquisiti durante il processo che mediante analisi statistica dei dati acquisiti di ottimizzare il processo e/o definire gli intervalli di riproducibilità del processo. Qualora se non fosse possibile utilizzare il sistema di stampaggio del DICA, il confronto con i dati sperimentali può essere effettuato anche presso le aziende. Infatti il sistema di condizionamento della Kistler per la sua portabilità può essere facilmente installato ovunque mentre la sua flessibilità ne consente il collegamento a qualunque stampo strumentato.



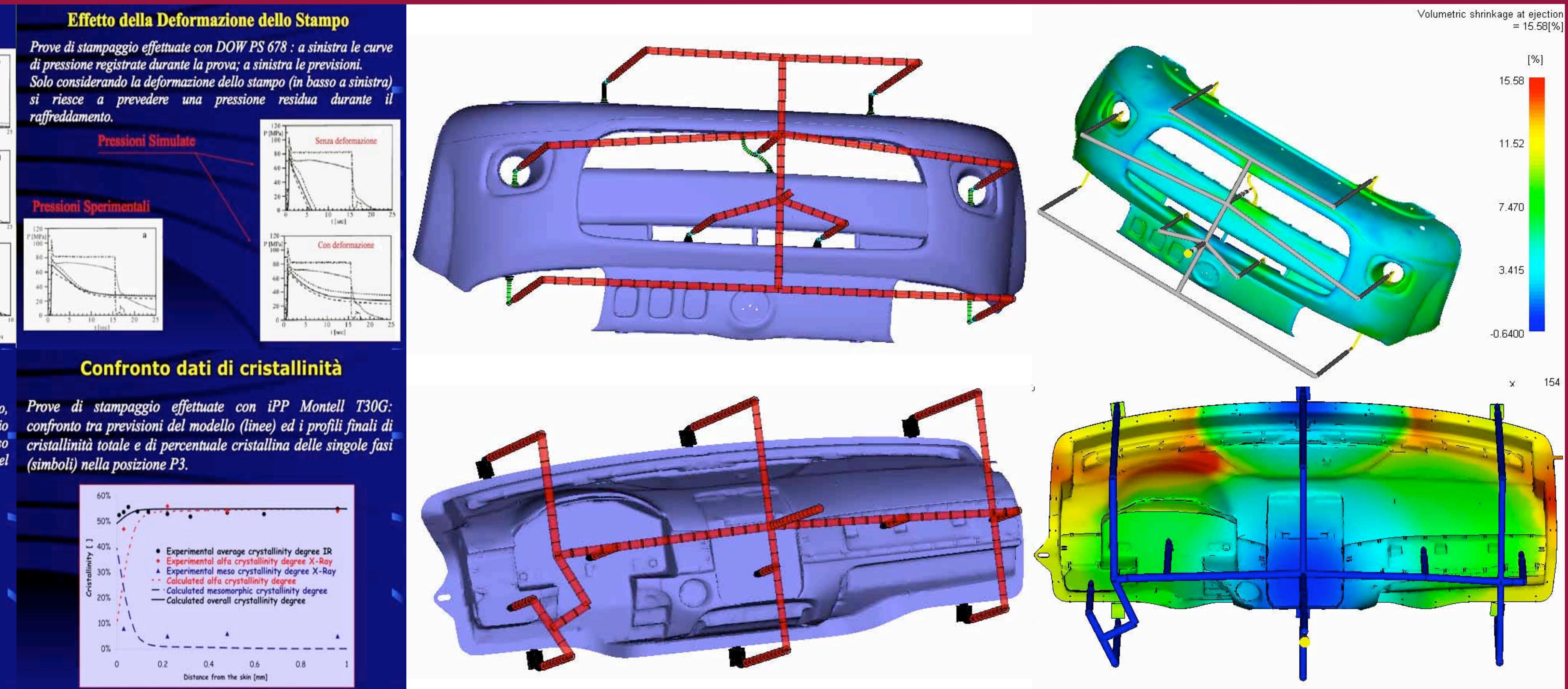
Sistema di acquisizione Kistler con PC (in alto) output tipico del Dataflow Kistler (in basso)

**SOFTWARE DI SIMULAZIONE NUMERICA.** Nel caso in cui non sia possibile strumentare lo stampo, l'affidabilità del sistema di monitoraggio può essere comprovata utilizzando software di simulazione del processo di stampaggio che forniscono previsioni sulla storia termo-meccanica del materiale durante il processo nonché sulla qualità finale del pezzo. Sin dagli anni '90 presso il DICA per la caratterizzazione del processo di stampaggio ad iniezione sono state utilizzate, congiuntamente alla acquisizione e al monitoraggio, la modellazione e la simulazione numerica. Queste attività hanno portato allo sviluppo di un modello e di un software di simulazione la cui peculiarità è soprattutto la completezza di descrizione del materiale. L'utilizzo di questo software consente di fornire per geometrie semplici previsioni sulle evoluzioni durante il processo di variabili di cristallinità, di orientazione molecolare e di parametri morfologici oltre che di pressione, di temperatura e di velocità. Accanto a questo strumento di analisi vari software di simulazione commerciali per un'analisi del processo in geometrie semplici e complesse sono disponibili presso il DICA. Con questi software di simulazione è possibile analizzare il processo di stampaggio anche nel caso in cui si stampino manufatti di grosse dimensioni, di geometria complessa o anche provvisti di inserti. Tutti questi software di simulazione forniscono un set completo di tecnologie in grado di simulare i processi di stampaggio (anche quelli oggi più avanzati) che consente di progettare, analizzare ed ottimizzare il processo partendo anche da soli prototipi di manufatti digitali. In questo modo si riducono i costi ed i tempi sia di uscita del manufatto sul mercato che di produzione. Per una determinata geometria del manufatto è possibile ad esempio fissato un parametro di qualità progettare l'intero processo ossia determinare il disegno (cavità, canali di adduzione, numero e posizione dei punti di iniezione) ed il materiale dello stampo, la tipologia ed il set-up operativo della pressa ad iniezione nonché il materiale polimerico da utilizzare. Ovviamente tutti i possibili esempi di questa progettazione non richiedono la realizzazione di alcun prototipo fisico. Allo stesso modo fissato che sia lo stampo ed il materiale da stampare si può determinare il set-up operativo che per una determinata pressa consente il raggiungimento di determinati standard qualitativi del manufatto prodotto oppure determinati volumi/costi di produzione. Ovviamente anche l'individuazione del materiale polimerico da utilizzare per il processo perché un manufatto abbia determinate proprietà finali è possibile. Nel caso in cui manufatti prodotti presentino difetti, con l'analisi del processo con i software di simulazione è possibile stabilire le cause di dell'insorgenza della difettosità nonché trovare rapidamente la soluzione al problema della difettosità del manufatto. Tutto questo senza dover impiegare tempo e risorse nel procedimento per tentativi che viene spesso utilizzato nelle aziende per trovare nuove condizioni operative che garantiscono la scomparsa delle difettosità. Inoltre poiché spesso la soluzione dei problemi non è unica, i software di simulazioni possono fornire soluzioni che coinvolgono solo il set-up operativo del processo e non già la modifica degli stampi che comporta, soprattutto nel caso di stampi particolarmente complessi, tempi lunghi e costi notevoli.

## SOFTWARE SIMULAZIONE DICA



## SOFTWARE SIMULAZIONE COMMERCIALE



Su sfondo blu sono rappresentate, per prove di stampaggio effettuate con materiali amorfi e cristallini, i confronti tra curve sperimentali e simulate di pressione, temperatura, cristallinità e parametri morfologici. Su sfondo bianco sono rappresentate per geometrie di grandi dimensioni e complesse le previsioni per un paraurti dei tempi di riempimento (in alto) mentre per la plancia le previsioni del ritiro volumetrico (in basso).

### POLYMER TECHNOLOGY GROUP

Prof. G. Titomanlio [gtitomanlio@unisa.it], Prof. R. Pantani [rpantani@unisa.it], Ing. F. De Santis [fedesantis@unisa.it], Ing. A. Sorrentino [asorrentino@unisa.it], Ing. I. Coccorullo [icoccorullo@unisa.it], Ing. U. Vietri [uvietri@unisa.it], Ing. F. De Maio [fdemaio@unisa.it]

Per ulteriori informazioni: <http://www.polymertechnology.unisa.it> o [info.ptg@dica.unisa.it](mailto:info.ptg@dica.unisa.it)

Ing. Vito Speranza  
Telefono: 08996 4145 o 4059 Fax: 08996 4057  
E-mail: [speranza@dica.unisa.it](mailto:speranza@dica.unisa.it)  
Web: <http://www.polymertechnology.unisa.it>