

Tecniche di DoE

DoE - Design of Experiment

Sequenza di Prove Sperimentali da Effettuare per Studiare e Ottimizzare un Processo

Un esperimento programmato è una prova o una serie di prove in cui vengono fatte variare deliberatamente le variabili di ingresso di un processo (fattori), in modo da poter osservare e identificare le corrispondenti variazioni della risposta in uscita.

I metodi della programmazione degli esperimenti possono essere usati sia nello sviluppo sia nella messa a punto del processo per migliorarne le prestazioni o per ottenere un processo robusto ovvero insensibile alle sorgenti esterne di variabilità.

I metodi della programmazione degli esperimenti possono essere usati sia nello sviluppo sia nella messa a punto del processo per migliorarne le prestazioni o per ottenere un processo robusto ovvero insensibile alle sorgenti esterne di variabilità.

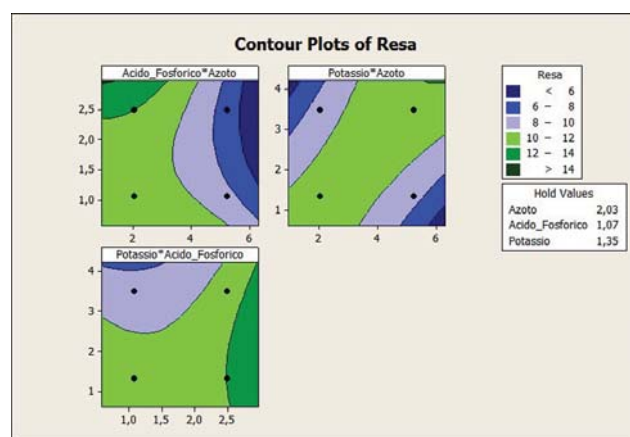
Obiettivi dell'esperimento possono comprendere:

- determinare quali variabili hanno più influenza sulla risposta;
- come aggiustare le variabili per ottimizzare la risposta;
- come aggiustare le variabili per minimizzare la variabilità della risposta;

I metodi di SPC e il DoE, entrambi potenti strumenti per il miglioramento e l'ottimizzazione del processo, sono strettamente complementari e collegati tra loro: l'SPC è un metodo statistico passivo in cui osserviamo il processo in attesa di certe informazioni che potranno condurre a cambiamenti utili. Tuttavia, se il processo è sotto controllo, l'osservazione passiva non può produrre molta informazione utile.

Viceversa, il DoE è un metodo statistico attivo: si faranno in effetti una serie di prove sul processo, effettuando cambiamenti negli ingressi e osservando i corrispondenti cambiamenti nelle uscite, cosa che produce informazione che può condurre ad un miglioramento del processo.

I metodi del DoE possono essere molto utili nella messa



sotto controllo statistico del processo. Ad esempio, si supponga che una carta di controllo indichi che il processo è fuori controllo, e che il processo abbia molte variabili in ingresso controllabili. Può essere difficile ricondurre il processo sotto controllo a meno che non conosciamo quali variabili in ingresso hanno importanza. I metodi di programmazione degli esperimenti possono essere utili per identificare queste variabili di ingresso influenti.

La programmazione degli esperimenti è uno strumento di importanza critica per il miglioramento di un processo e per lo sviluppo di nuovi processi. L'applicazione tempestiva di queste tecniche può condurre a:

- un aumento del volume di prodotto;
- una riduzione della variabilità ed un più preciso rispetto delle specifiche di progetto;
- una riduzione dei tempi di sviluppo e dei costi totali.

Il DoE gioca un ruolo essenziale nelle attività di progetto, quando si sviluppano nuovi prodotti o si migliorano quelli esistenti. Alcune applicazioni del DoE comprendono:

- il confronto di configurazioni di progetto;
- la valutazione di alternative sui materiali;
- la determinazione dei parametri chiave in quanto ad influenza sulle prestazioni.

Le Tecniche del DoE

Le tecniche più largamente utilizzate nella programmazione degli esperimenti sono:

Piani Fattoriali

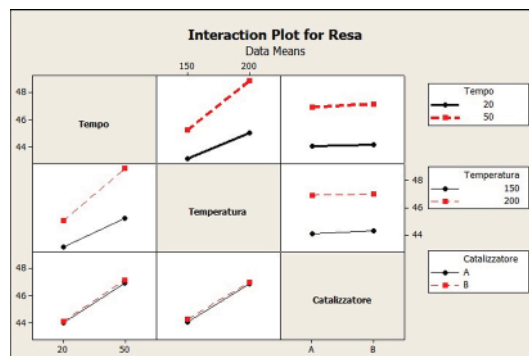
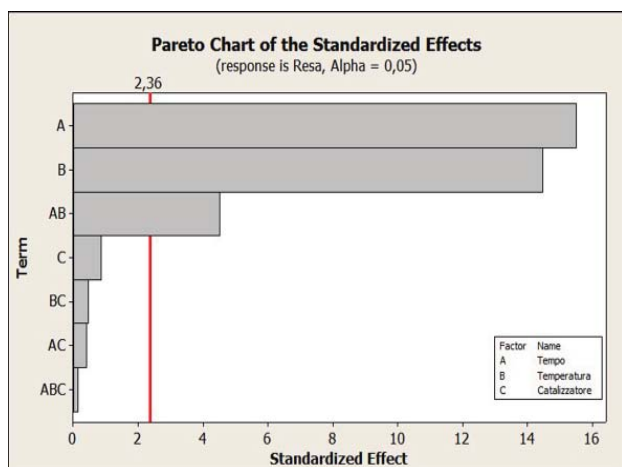
Gli esperimenti fattoriali sono un particolare tipo di esperimenti in cui ciascuno dei fattori viene considerato a due livelli. Sono tra quelli più utilizzati in quanto:

- permettono di verificare un numero grande di fattori senza dover ricorrere a troppe prove;
- si prestano efficacemente al frazionamento, alla suddivisione in blocchi;
- sono piani esplorativi eccellenti.

Gli esperimenti fattoriali sono quindi una sequenza di prove da cui si raccolgono dati sulla variabile risposta e in cui i livelli di un fattore controllabile, o le combinazioni di livelli di due o più fattori controllabili, vengono cambiati come definito dal progetto dell'esperimento.

I vantaggi degli esperimenti fattoriali sono:

- gli effetti combinati di due o più fattori su una risposta possono essere analizzati solo modificando simultaneamente due o più fattori;
- ogni prova di un esperimento fattoriale fornisce informazioni su tutti i fattori dell'esperimento consentendo risparmio di tempo e risorse;
- i cambiamenti simultanei di molti fattori tratte da un esperimento fattoriale sono applicabili ad una grande varietà di condizioni.



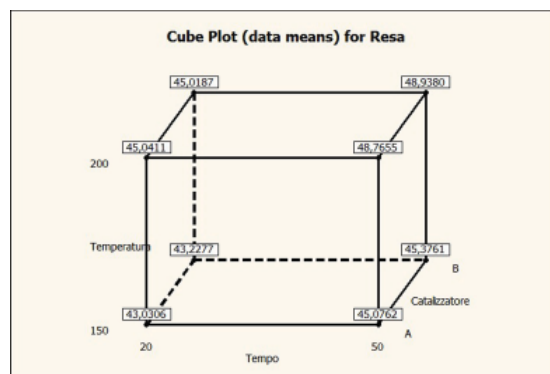
Superfici di Risposta

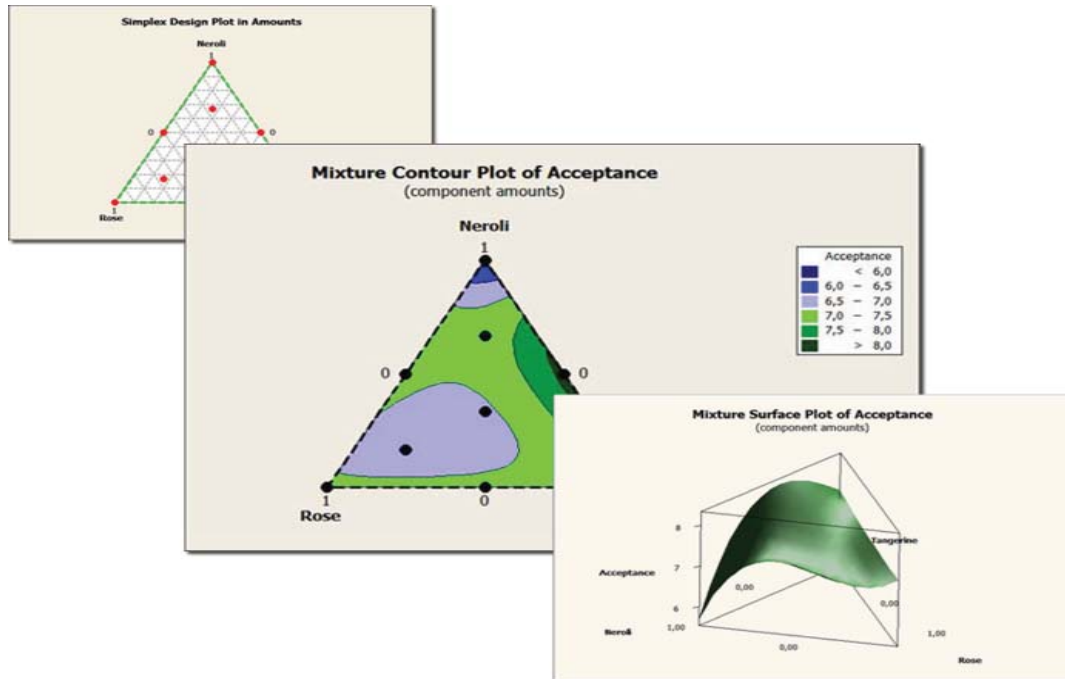
La metodologia delle Superfici di Risposta (Response Surface) è costituita da un gruppo di tecniche matematiche e statistiche utilizzate per la modellazione e l'analisi in applicazioni in cui la risposta di interesse è influenzata da un certo numero di variabili di ingresso e l'obiettivo è di ottimizzare questa risposta.

Mediante la metodologia delle superfici di risposta si è in grado di comprendere come è influenzata una particolare risposta dal gruppo di variabili in ingresso all'interno di una certa regione di interesse. La valutazione degli effetti di vari fattori sul comportamento della risposta è resa possibile dall'analisi della regressione.

Nell'analisi della regressione i dati, inizialmente raccolti da un esperimento, vengono successivamente utilizzati per quantificare, mediante l'utilizzo di un certo modello, la relazione tra la variabile di risposta e le variabili di ingresso.

I metodi delle superfici di risposta sono delle tecniche che vengono impiegate prima, durante e dopo che si è effettuata l'analisi della regressione sui dati. Prima dell'analisi occorre pianificare l'esperimento e quindi è





necessario scegliere le variabili esplicative e determinare i valori da utilizzare durante la sperimentazione. Dopo l'analisi della regressione devono essere applicate le tecniche di ottimizzazione.

La metodologia delle superfici di risposta include quindi l'applicazione della regressione e di altre tecniche allo scopo di ottenere una migliore comprensione delle caratteristiche del sistema di risposta oggetto di studio.

In molti problemi, la relazione tra la risposta e le variabili indipendenti è sconosciuta. Il primo passo è quindi di trovare una funzione che approssimi localmente la vera relazione tra la risposta e le variabili indipendenti. Se la risposta è ben modellata da una funzione lineare delle variabili indipendenti, allora la funzione approssimante è un modello del primo ordine, se invece è presente una curvatura nel sistema, allora deve essere utilizzato un polinomio di grado superiore quale ad esempio un modello del secondo ordine.

Ovviamente non è verosimile che modelli polinomiali come questi rappresentino una adeguata

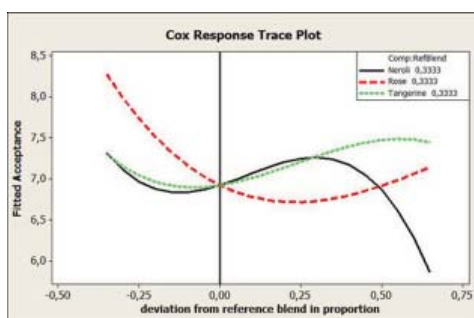
approssimazione della reale relazione nell'intero spazio delle variabili indipendenti ma per una regione relativamente piccola essi funzionano abbastanza bene. Il metodo dei minimi quadrati viene utilizzato per stimare i parametri nel polinomio approssimante. L'analisi della superficie di risposta è quindi fatta in termini di superficie adattata. Se la superficie adattata è una approssimazione adeguata della vera funzione della risposta, allora l'analisi della superficie adattata sarà approssimativamente equivalente all'analisi del sistema reale.

La strategia seguita si basa su una sperimentazione sequenziale che facilita un'efficiente ricerca dello spazio del fattore di ingresso mediante la realizzazione di un esperimento di primo ordine al quale segue un esperimento del secondo ordine. L'analisi dell'esperimento di secondo ordine può essere eseguita approssimando la relazione della superficie di risposta con un modello di regressione del secondo ordine.

Mixture

La tecnica del DOE fornisce un metodo efficiente per ottimizzare i processi e può portare a risultati interessanti se applicata alle formulazioni. Come accelerare l'esplorazione delle possibili alternative compositive di una miscela.

Nell'applicare la tecnica DOE, generalmente ci si indirizza verso progetti con modelli fattoriali a due livelli, che implicano la scelta di tutte le combinazioni di ciascun fattore ai suoi livelli alto e basso. Con tantissimi fattori, soltanto una frazione delle prove



sperimentali deve essere completata per valutare gli effetti principali e le interazioni semplici. Tuttavia, quando la variabile dipendente misurata o risposta dipende dalle proporzioni degli ingredienti, come nelle formulazioni chimiche o alimentari, i modelli fattoriali possono non avere senso.

Se si conducono esperimenti sulle formulazioni dove sono importanti soltanto le proporzioni e non la quantità, i disegni fattoriali non funzionano. È quindi necessario ottimizzare la formulazione attraverso un Mixture Design, che considera la dipendenza della variabile dipendente o risposta sulla proporzionalità degli ingredienti.

Metodo di Taguchi

Nei progetti di sviluppo di prodotto e nella messa a punto dei processi industriali, la realizzazione di prove sperimentali rappresenta quasi sempre una fonte notevole di costi, sia come impiego di tempo che di risorse umane e materiali.

Infatti, lo studio e la sperimentazione effettuata su sistemi complessi, che quindi presentano numerosi parametri di funzionamento e diversi fattori che influiscono sulle loro prestazioni, richiede generalmente tempi lunghi e risorse notevoli, specie affrontando l'influenza dei singoli fattori singolarmente; inoltre, uno studio così condotto non porta necessariamente a risultati significativi, con forte rischio di perdita degli investimenti fatti.

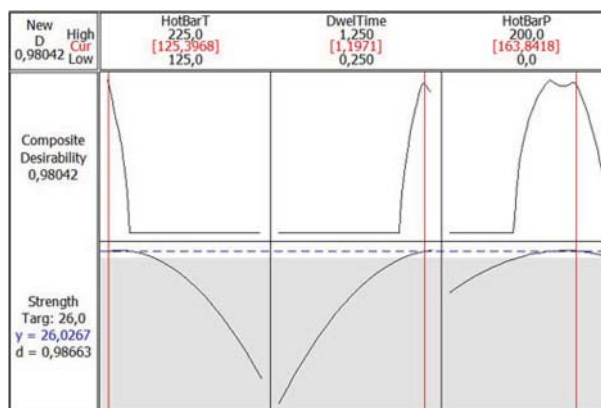
Il DOE è un metodo di approccio alla progettazione ed organizzazione degli esperimenti, mediante il quale è possibile analizzare in modo sistematico la natura, gli obiettivi, gli elementi significativi degli esperimenti e dei processi su cui operano, e poter così finalizzare le prove sperimentali alla massima efficacia.

Mediante una ragionata applicazione delle tecniche del

DOE, è quindi possibile ridurre drasticamente i costi della realizzazione di prove sperimentali, e operando su prove pianificate correttamente è possibile ottenere risultati ricchi di informazioni, anche in considerazione delle semplici tecniche di analisi statistica che il DOE ha fatto proprie.

In particolare, attraverso l'adozione delle matrici ortogonali e del metodo di Taguchi, è possibile con l'ausilio di semplici strumenti indagare su un largo numero di parametri e, con l'applicazione di appropriate metodologie statistiche, ottenere valutazioni importanti sul comportamento del sistema con un minimo numero di prove sperimentali.

La progettazione degli esperimenti con l'applicazione del metodo di Taguchi può essere inoltre un valido strumento nella ricerca di continui miglioramenti della qualità dei prodotti e dei processi: attraverso la sperimentazione si possono identificare i fattori che più influenzano la qualità e le prestazioni dei prodotti stessi, selezionare per essi dei valori ottimizzati e, seguendo i paradigmi del Robust Design, rendere i prodotti stessi più stabili nel loro comportamento rispetto all'influenza delle variabili esterne ed incontrollabili.



Minitab: Analizzare la Variabilità nel DoE

Un'analisi tradizionale di un esperimento pianificato aiuta a determinare le migliori impostazioni delle variabili (Fattori) che influenzano i processi.

Ad esempio quando si vuole conoscere le impostazioni di produzione per realizzare la lunghezza target di una parte per automobile, o le procedure che consentono una riduzione di tempo di risposta in un Call Center.

Se nelle misurazioni effettuate esiste però una certa quantità di variabilità, non è detto che i risultati ottenuti ci daranno le informazioni opportune per migliorare il rendimento del processo in esame. Per assicurarsi che i risultati siano in grado di darci le

informazioni attese o che rispondano alle esigenze del nostro cliente, è necessario identificare il grado di variabilità dei fattori.

In Minitab questo è possibile utilizzando le funzioni di Analyze Variability.

Perché analizzare la variabilità

Analizzando la risposta media dei risultati degli esperimenti a volte non si hanno tutte le informazioni necessarie per determinare le impostazioni dei fattori che ottimizzano il processo.

Esempi di come la variabilità può influire sulle interpretazioni

Qui vediamo quanto tempo è necessario per gli operatori di un Call Center per processare gli ordini utilizzando applicazioni software differenti. Il tempo medio di una vecchia applicazione e quella nuova risultano essere abbastanza simili, ma esiste una variabilità accentuata utilizzando l'applicativo precedente.

Per migliorare il processo e rispondere alle richieste del cliente, il Call Center Manager potrebbe decidere di utilizzare esclusivamente la nuova applicazione.

Si consideri una tipografia, il responsabile della Qualità è a conoscenza che la macchina di stampa Type A con un livello di velocità 5 offre, in media, il migliore risultato di stampa, ma anche una eccessiva variabilità al punto che alcune riviste risultano illeggibili.

Con queste informazioni, la tipografia decide di utilizzare le impostazioni che offrono livello leggermente inferiore di qualità, ma più costante.

Analisi della Variabilità

Utilizzando un DOE tradizionale, una società che produce prodotti da forno ha identificato alcune impostazioni per un processo produttivo tali da consentire un buon livello di gusto.

Comunque, vi sono state alcune lamentele nella consistenza del gusto. La società decide di verificare il processo conducendo un'altro esperimento, questa volta verificando la variabilità dei risultati. Si vuole conoscere il tempo di cottura, la temperatura e teglia da usare che consente di migliori risultati.

Calcolare la Deviazione Standard

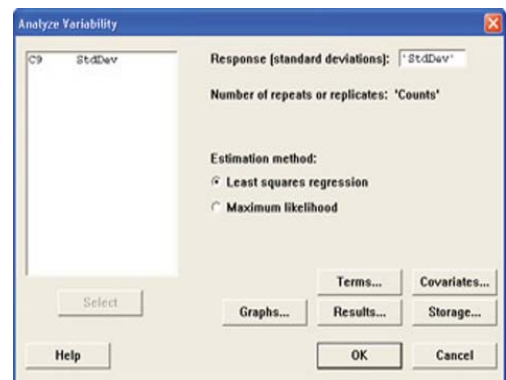
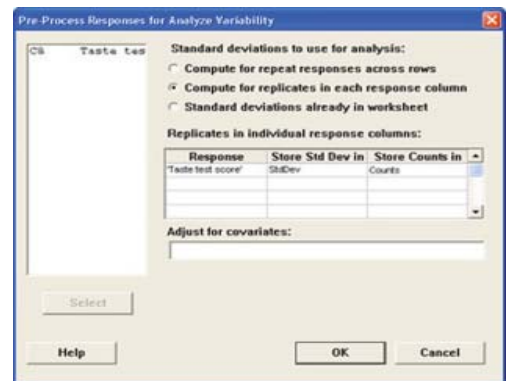
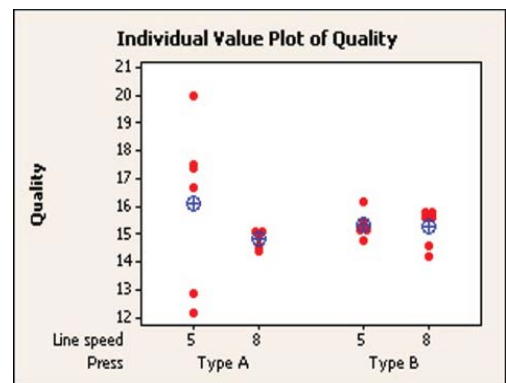
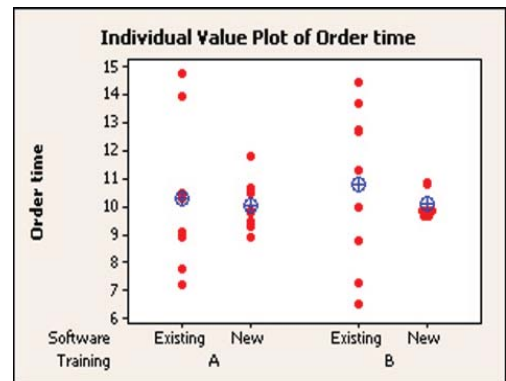
Il primo step è calcolare la deviazione standard per ciascun livello dei fattori. Si può analizzare la variabilità per ogni 2-level factorial experiment che abbia misure multiple per ogni livello. La società replicherà l'esperimento per ogni combinazione di fattori 5 volte in ordine casuale, raccogliendo i risultati dopo ogni run.

- Scegliere Stat > DOE > Factorial > PreProcess Responses for Analyze Variability.
- Scegliere Compute for replicates in each response column
- Digitare la colonna contenente la risposta e le colonne nelle quali memorizzare la deviazione standard e conteggi, click OK.

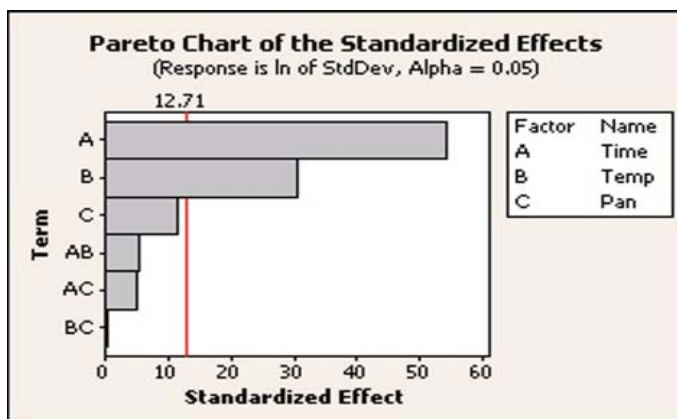
Trovare gli Effetti Significativi

Ora è possibile analizzare la variabilità dell'esperimento.

- Scegliere Stat > DOE > Factorial > Analyze Variability.
- In Response, inserire la colonna della deviazione standard.
- Sotto Estimation method, scegliere Least squares regression per determinare i termini non significativi.
- Click Graphs, quindi scegliere Pareto e click OK.



In questo Pareto chart del modello iniziale, nessuna delle interazioni two-way risultano significative. Si procederà nel ri-eseguire l'analisi rimuovendo volta per volta i termini non significativi, ottenendo il modello finale che include i termini significativi: Time, Temp, e Pan.



Interpretare i Risultati

Per interpretare il modello finale, rieseguire l'analisi utilizzando

- Stat > DOE > Factorial > Analyze Variability,
- questa volta però scegliere Maximum likelihood quale metodo di stima per ottenere le stime dei coefficienti più precise.

Esaminare quindi ratio effects per la stima di come la variabilità cambi dal valore più basso a quello più alto, tra le possibili impostazioni del fattore. Da notare che Time ha la più ampia proporzione relativamente a Temp e Pan. Ottenendo queste informazioni, l'azienda deciderà di utilizzare il tempo di cottura, impostando Temperatura e Tipo di Teglia al fine di ottenere un gusto costante e in linea con le richieste del mercato.

MLE Estimated Effects and Coefficients for Ln of StdDev (coded units)

Term	Effect	Ratio Effect	Coef	SE Coef	Z	P
Constant			0.7934	0.09884	8.03	0.000
Time	2.2416	9.408	1.1208	0.09884	11.34	0.000
Temp	1.2714	3.566	0.6357	0.09884	6.43	0.000
Pan	0.4811	1.618	0.2406	0.09884	2.43	0.015



Nel panorama nazionale delle società di distribuzione software, GMSL si colloca nel settore della ricerca pura, come fornitore di soluzioni per l'analisi numerica e grafica. L'impegno della società in questo settore è rivolto a fornire al moderno ricercatore una serie di prodotti, ad alto contenuto tecnologico, tali da facilitare il raggiungimento dei propri obiettivi. Il supporto tecnico e la disponibilità di training sui prodotti offerti, fanno di GMSL una struttura moderna ed all'avanguardia nella continua ricerca di strumenti idonei all'evoluzione tecnologica.

GMSL S.r.l.

Via Giovanni XXIII, 21 - 20014 Nerviano MI - 0331-587511 - info@gmsl.it - www.gmsl.it