

Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione

Facoltà di Ingegneria

Università degli Studi di Salerno



Un metodo di validazione del software di misura

Coordinatore del Dottorato

Prof. M. Longo

Tutor

Prof. C. Liguori

Dottorando VI ciclo N.S.

Paolo Sommella

Outline

□ Introduzione

- Software di misura

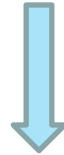
- Validazione del Software

□ Il metodo di validazione sviluppato

□ La verifica del metodo proposto

Introduzione *Software e Strumentazione di misura*

La moderna strumentazione sempre più volte è costituita da una stazione basata su un opportuno software capace di assolvere a diversi compiti (estrazione di misure, monitoraggio di grandezze, analisi numerica di segnali)



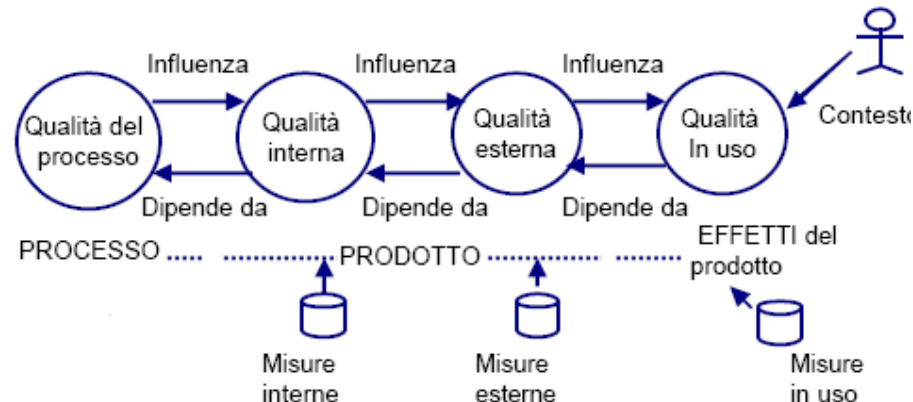
Il software è parte fondamentale del processo di misura



Il software deve essere attentamente verificato al fine di garantire l'affidabilità dei *risultati di misura*

Introduzione *Qualità del Software*

Anche nel campo della strumentazione
grande interesse per un approccio *sistematico*
nello sviluppo, funzionamento e manutenzione del
software volto ad assicurarne la *qualità*¹



qualità interna ed esterna

- funzionalità
- efficienza
- affidabilità
- manutenibilità
- usabilità
- portabilità

qualità in uso

- efficacia
- soddisfazione
- produttività
- sicurezza

Verifica e Validazione (V&V)

- i risultati di una data attività rispettano i requisiti predefiniti ? (Verifica)
- il software è conforme ai relativi intenti d'uso ed esigenze dell'utente ? (Validazione)

1. Standard ISO/IEC 9126-1, "Software engineering -- Product quality -- Part 1: Quality model", 2001

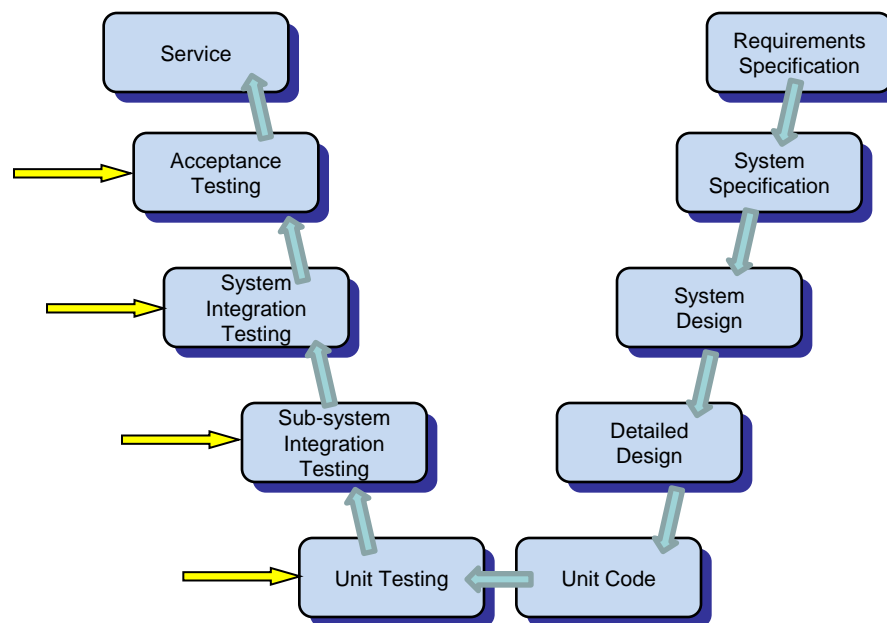
Testing = rivelare gli errori in un programma e fornire una stima della correttezza del sistema in esame

□ approccio **strutturale** o **white-box**

richiede la conoscenza dettagliata del codice
è tipicamente impiegato nelle fasi iniziali del ciclo di vita del software

□ approccio **funzionale** o **black-box**

generalmente impiegato nelle ultime fasi di test
l'attenzione è focalizzata sulla verifica che il software soddisfi i requisiti funzionali e di affidabilità e robustezza

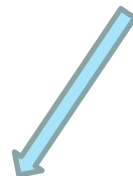


Tecniche consolidate

- ❑ Boundary Value Analysis
- ❑ Branch Testing
- ❑ Equivalence Partitioning Testing
- ❑ . . .

Tecniche innovative

- ❑ Orthogonal Array Software Testing
- ❑ Random Testing



- ❑ per la *verifica funzionale* del prodotto software (*System e Acceptance Testing*) attraverso un *testing* di tipo *dinamico*
- ❑ per un testing di tipo *non esaustivo*
- ❑ orientato ad assicurare l'affidabilità del prodotto (esplorazione delle *effettive condizioni operative di utilizzo* del sistema software)

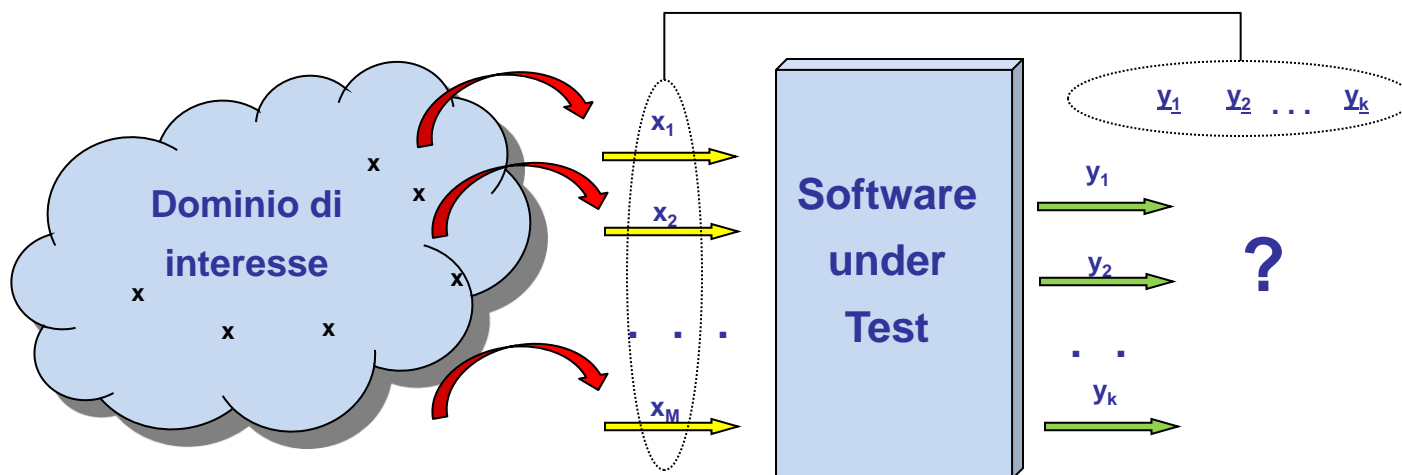
tuttavia non di immediata applicazione nel contesto del *software per strumentazione*

I *dati* elaborati dalle *routine software*

- ❑ non appartengono ad insiemi discreti di numerosità limitata
- ❑ non sono indipendenti

Il metodo proposto *principi di base*

La validazione del software di misura attraverso l'approccio black-box si traduce nel problema dell'efficace esplorazione delle possibili combinazioni di valori che gli input del software possono assumere.



Il metodo proposto *principi di base*

La validazione del software di misura attraverso l'approccio black-box si traduce nel problema dell'efficace esplorazione delle possibili combinazioni di valori che gli input del software possono assumere.

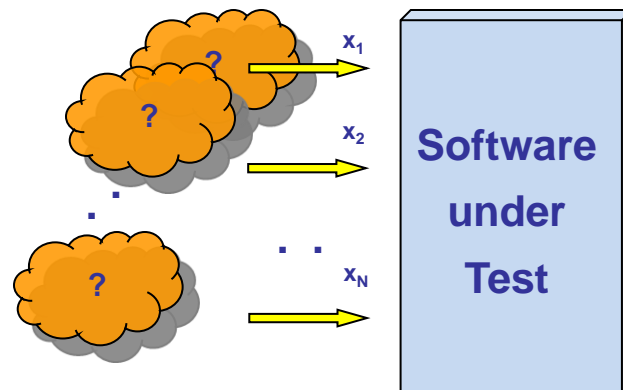
- caratterizzazione del dominio di ingresso
- campionamento del dominio di ingresso
- stima delle relazioni tra le grandezze di ingresso
- imposizione delle relazioni

- Caratterizzazione del dominio di ingresso

Ogni grandezza di ingresso è considerata come una variabile aleatoria



caratterizzazione in termini di *pdf* (o *CDF*)



- a partire da una eventuale conoscenza a priori

- campagna di acquisizione

+

problema di stima di dati sperimentali



- **approccio parametrico**
(metodo dei momenti, dei minimi quadrati,...)
- **approccio non parametrico**
(metodo kernel)

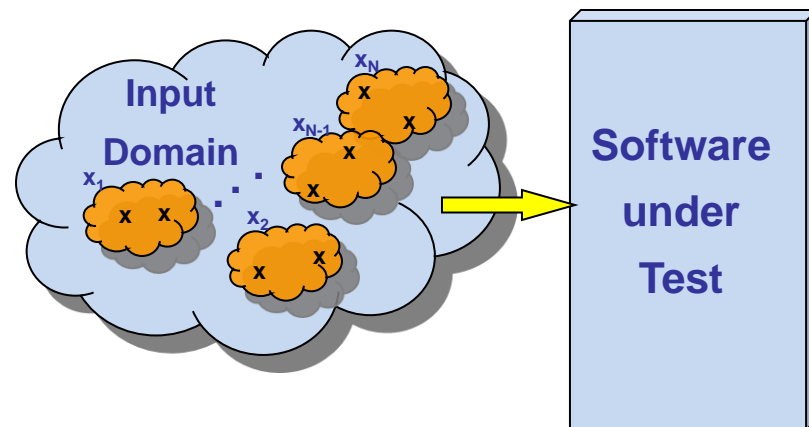
Il metodo proposto

passi della procedura

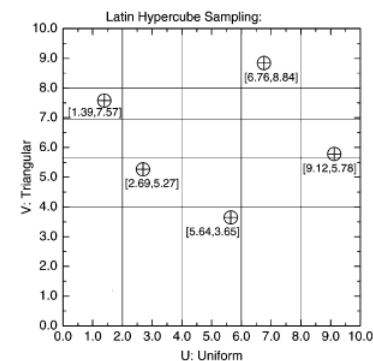
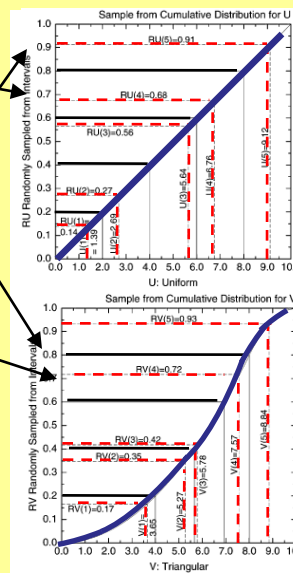
- Campionamento del dominio di ingresso

Latin Hypercube Sampling¹

una procedura casuale stratificata progettata per riprodurre accuratamente le distribuzioni di ingresso con un numero ridotto di campioni



1. La CDF di ciascuna delle N grandezze è divisa in M intervalli equiprobabili
2. Un valore è scelto casualmente da ciascun intervallo ed è applicata una inversione



Esempio di campionamento LHS

($N=2$, $M=5$)

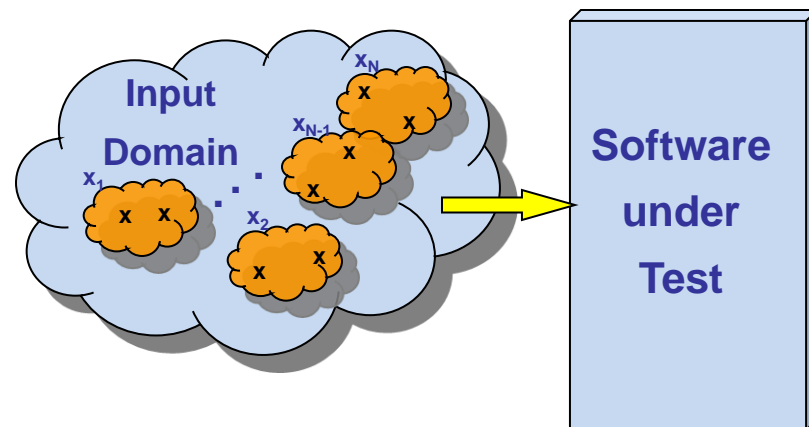
Il metodo proposto

passi della procedura

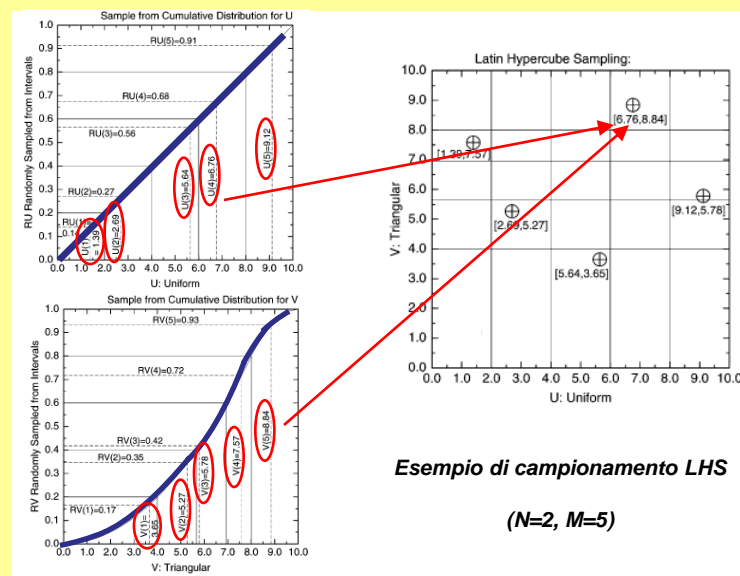
- Campionamento del dominio di ingresso

Latin Hypercube Sampling

una procedura casuale stratificata progettata per riprodurre accuratamente le distribuzioni di ingresso con un numero ridotto di campioni



1. La CDF di ciascuna delle N grandezze è divisa in M intervalli equiprobabili
2. Un valore è scelto casualmente da ciascun intervallo ed è applicata una inversione
3. Gli M valori di ogni grandezza sono combinati casualmente (random pairing) con quelli delle rimanenti



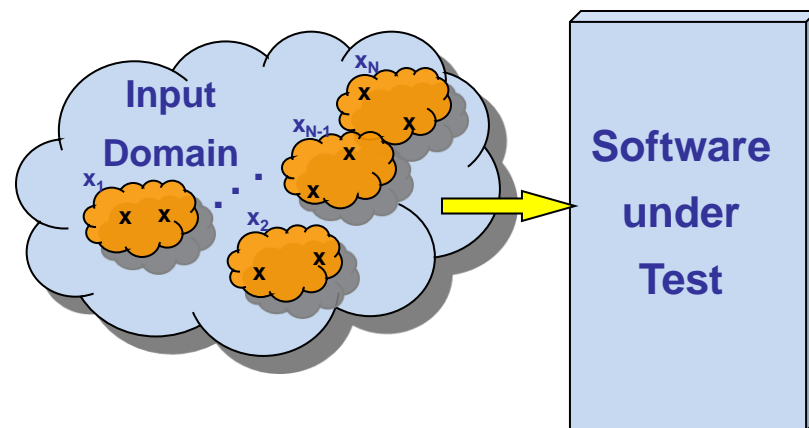
Il metodo proposto

passi della procedura

- Campionamento del dominio di ingresso

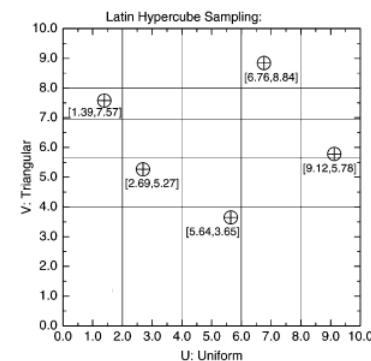
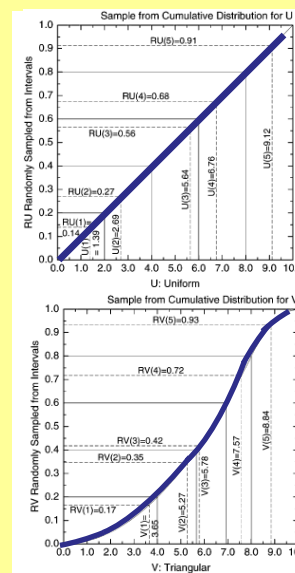
Latin Hypercube Sampling

una procedura casuale stratificata progettata per riprodurre accuratamente le distribuzioni di ingresso con un numero ridotto di campioni



Il risultato è una matrice L (di ordine $M \times N$):

- ogni colonna contiene i campioni (M) della corrispondente grandezza di ingresso (in accordo con la sua distribuzione marginale)
- ogni riga rappresenta un campione del dominio di ingresso

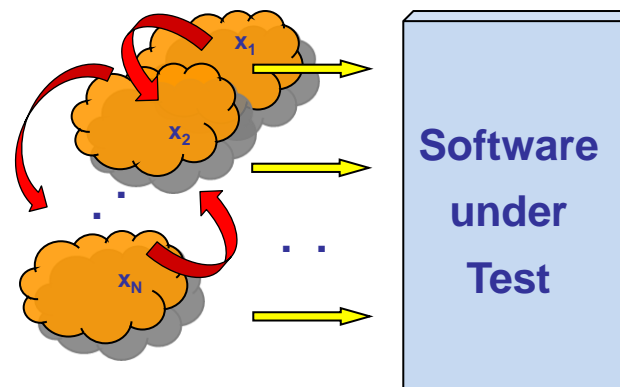


Esempio di campionamento LHS

(N=2, M=5)

□ Stima delle relazioni tra gli ingressi

i legami esistenti tra le N grandezze di ingresso
possono essere valutati in termini dei
**coefficienti di correlazione di rango di
Spearman**



$$C(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^{N_s} [R(i_k) - (N_s + 1) / 2] \cdot [R(j_k) - (N_s + 1) / 2]}{\left\{ \sum_{k=1}^{N_s} [R(i_k) - (N_s + 1) / 2]^2 \right\}^{1/2} \cdot \left\{ \sum_{k=1}^{N_s} [R(j_k) - (N_s + 1) / 2]^2 \right\}^{1/2}}$$

$C(i, j)$ = correlazione tra gli ingressi i -mo e j -mo ($i, j=1, \dots, N$)

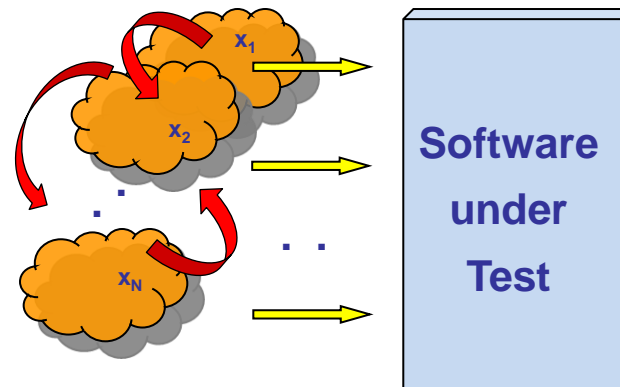
N_s = numero dei campioni sperimentali disponibili per ciascun ingresso

$R(x)$ = rango di x nella corrispondente distribuzione di ingresso

Questo tipo di statistica risulta più efficace nel rappresentare l'eventuale relazione monotona tra due variabili rispetto ad altri tipi di coefficienti di correlazione più comunemente impiegati (come ad esempio i *coefficienti di Pearson*) in contesti più generali quali distribuzioni di dati non normali

□ Stima delle relazioni tra gli ingressi

i legami esistenti tra le N grandezze di ingresso
possono essere valutati in termini dei
***coefficienti di correlazione di rango di
Spearman***



sulla base del dataset sperimentale è possibile determinare :

□ la matrice dei coefficienti C' (mutue correlazioni per tutte le possibili coppie di ingresso)

□ per ogni statistica (coefficiente di correlazione tra 2 ingressi) un intervallo di confidenza adottando la *tecnica del bootstrap*²(ricampionamento con sostituzione del dataset iniziale)

2. J. S. Haukoos, R.J. Lewis, "Bootstrapping confidence intervals for statistics with difficult distributions", *Advanced Statistics Academy Emergency Medicine*, Vol. 12, No. 4, April 2005, pp. 360-365.

Il metodo proposto

passi della procedura

- Imposizione delle relazioni tra gli ingressi

Il Latin Hypercube Sampling

non tiene in conto le eventuali relazioni esistenti tra le grandezze di ingresso

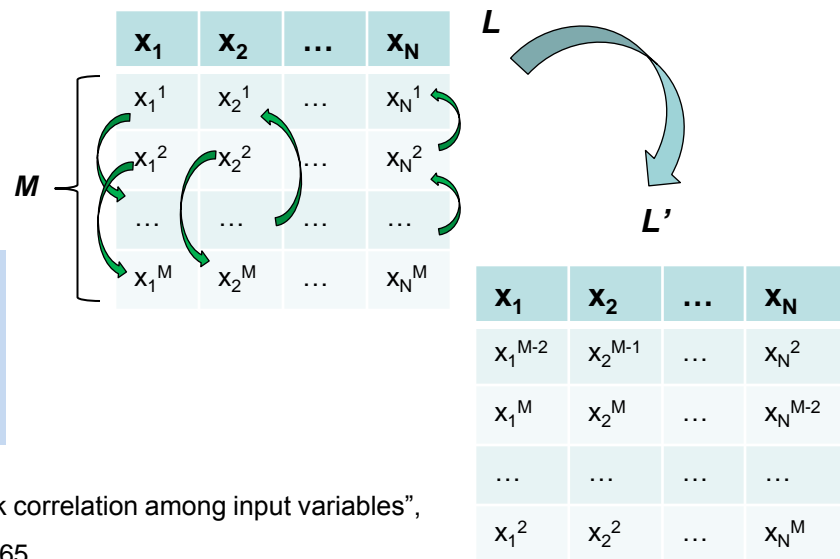
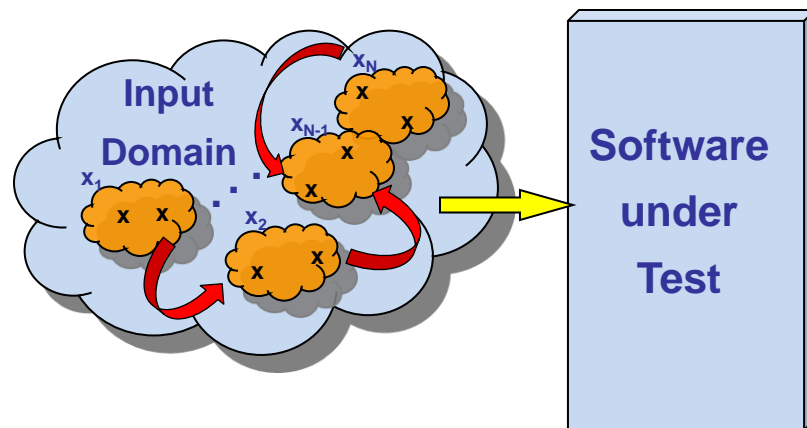


è necessario applicare

la procedura di restricted pairing³

che induce sui campioni LHS una nuova struttura di correlazione

l'algoritmo di Iman consiste in un riordinamento delle tuple (L) dei campioni LHS (all'interno di ciascuna colonna) opportunamente basato sulla matrice di correlazione di rango desiderata (C')

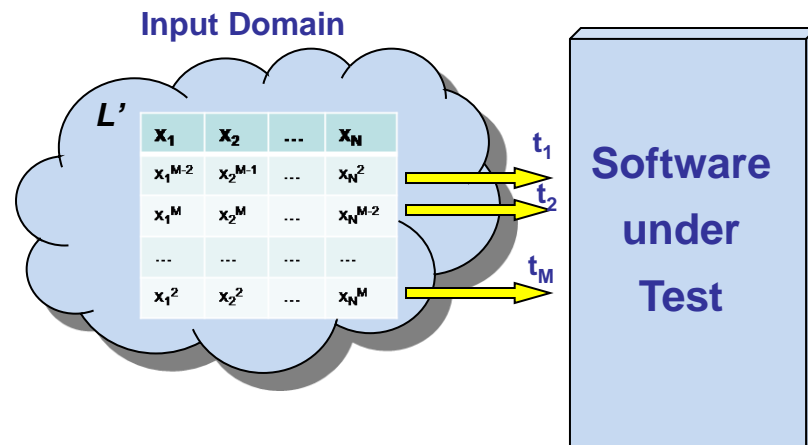


3. R.L. Iman and W.J. Conover, "A distribution-free approach to inducing rank correlation among input variables", *Communications in Statistics*, Vol. B11, pp. 311-334, April 2005, pp. 360-365.

Il metodo proposto

passi della procedura

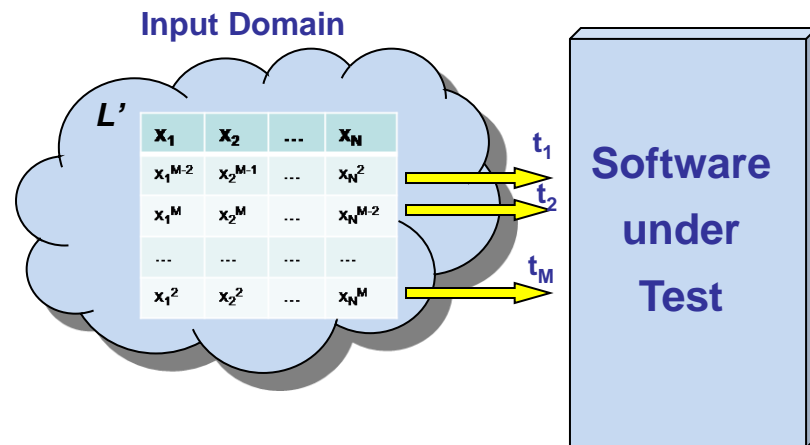
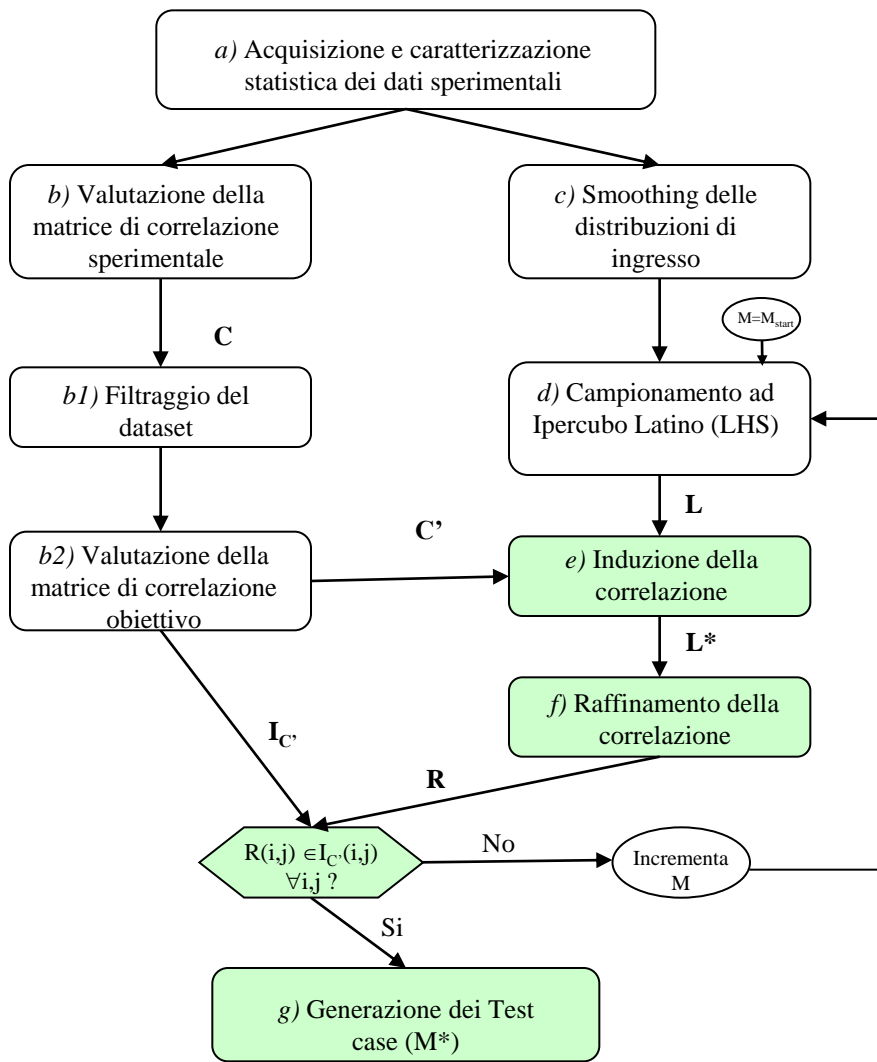
Le M tuple della matrice L' sono le combinazioni dei valori degli input rispetto ai quali valutare il software



All'aumentare di M
migliora l'efficacia del campionamento LHS
e degli algoritmi di induzione della
correlazione desiderata

Il metodo proposto

passi della procedura



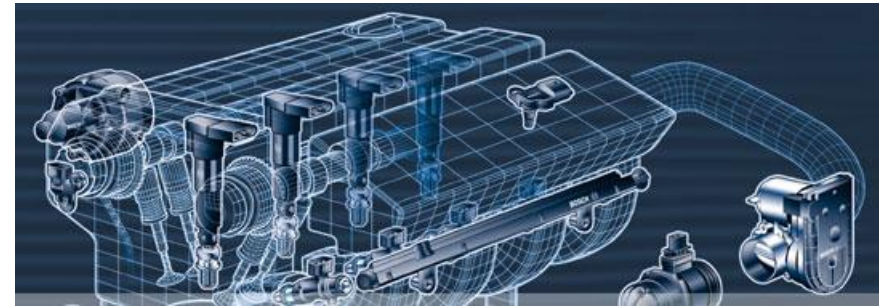
All'aumentare di M
migliora l'efficacia del campionamento LHS
e degli algoritmi di induzione della
correlazione desiderata

La strategia adottata lega
la dimensione M del Test Set
all'incertezza delle correlazioni obiettivo

La verifica del metodo *l'applicazione di riferimento*

Applicazione del metodo di validazione proposto al *testing* del software eseguito da una centralina per la gestione elettronica di un motore a combustione:

- ❑ Motore a benzina ad iniezione diretta Fiat Fire 1,4L PDA+CVCP
- ❑ Architettura di controllo Bosch Motronic ME7: sensori + attuatori + E.C.U.

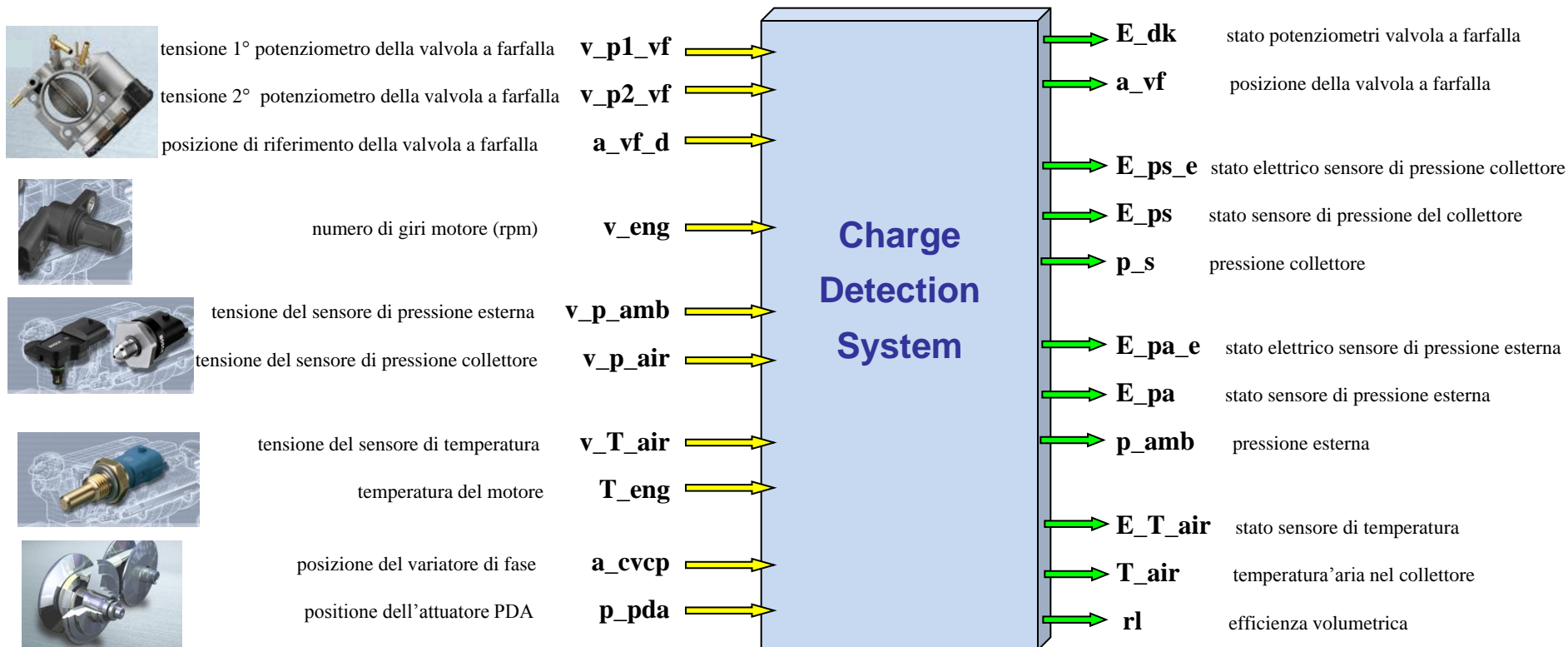


Acceptance Testing:

- ❑ Ente Committente: Fiat PowerTrain (software requirements)
- ❑ Ente sviluppatore: Bosch
- ❑ validazione del software di centralina in riferimento all'impiego reale del motore

La verifica del metodo *il software esaminato*

- ❑ Software per la *diagnosi* dei *sensori* coinvolti nella rivelazione della richiesta di coppia (EOBD)
- ❑ Sistema correttamente funzionante su migliaia di autovetture (golden standard)



❑ **10 variabili di input** (valori di misura e informazioni da altri moduli)

❑ **11 variabili di output** (stato dei sensori e informazioni di misura)




La verifica del metodo *l'approccio*

Il testing di un software per l'IFDI (*Instrument Fault Detection and Isolation*) dovrebbe tenere conto del comportamento in :



- ❑ condizioni di guasto dei sensori
 - ❑ % di mancate rilevazioni (*missed detection*)
 - ❑ % di mancati isolamenti (*missed isolation*)
- ❑ condizioni di corretto funzionamento dei sensori
 - ❑ % di guasti rilevati (*false alarm*)



Obiettivo della validazione : valutare la capacità di individuare attraverso il metodo proposto test case correttamente rappresentativi delle reali condizioni di utilizzo del software nel contesto di interesse

La verifica del metodo *l'approccio*

Il testing di un software per l'IFDI (*Instrument Fault Detection and Isolation*) dovrebbe tenere conto del comportamento in :

- ❑ condizioni di guasto dei sensori
 - ❑ % di mancate rilevazioni (*missed detection*)
 - ❑ % di mancati isolamenti (*missed isolation*)
- ❑ condizioni di corretto funzionamento dei sensori
 - ❑ % di guasti rilevati (*false alarm*)



Dominio operativo



Indice di prestazione

Una *percentuale di false alarms* $\neq 0$ è da imputare non al software diagnostico ma a combinazioni di ingresso errate perché non plausibili (limite della procedura di testing)

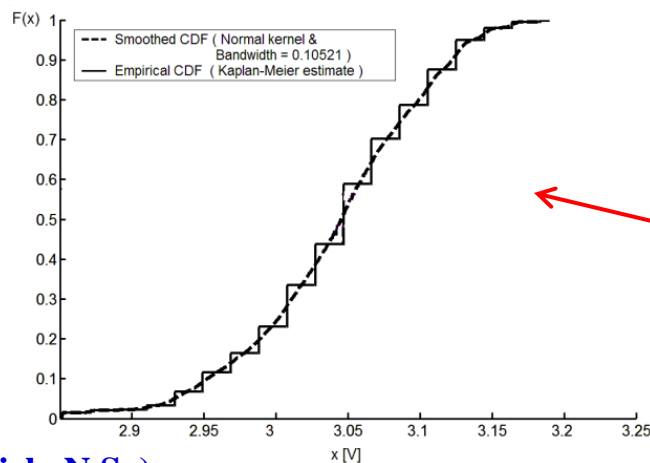
❑ Caratterizzazione del dominio di ingresso

Attraverso un banco prova si è condotta una campagna di misura delle grandezze di interesse durante il funzionamento del motore nei suoi tipici cicli operativi :



❑ *dataset sperimentale* di 30000 campioni per ciascun ingresso

❑ CDF di ciascuna variabile (*smoothing non parametrico*)



| Variabile di input | V_{min} | V_{max} |
|--------------------|-----------|-----------|
| v_{eng} | 600 rpm | 4000 rpm |
| T_{eng} | 20°C | 90°C |
| v_{p1_vf} | 0.785 V | 3.825 V |
| v_{p2_vf} | 1.226 V | 4.267 V |
| a_{vf_d} | 0% | 100% |
| v_{p_air} | 0.163 V | 4.120 V |
| v_{p_amb} | 3.64 V | 4.24 V |
| v_{T_air} | 2.8 V | 3.25 V |
| pda_p | 0 | 1 |
| a_{cvcp} | 0°Cra | 52°Cra |

□ Stima delle relazioni tra le grandezze di ingresso

Sulla base del *dataset sperimentale*:

- Matrice di correlazione di rango C' (10x10) in termini dei *coefficienti di Spearman*



↙

| p_pda | v_eng | T_eng | v_p1_vf | v_p2_vf | v_p_air | v_p_amb | a_vf_d | a_cvcp | v_T_air | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| 1 | -0.52633 | -0.20072 | -0.67754 | 0.67744 | 0.65773 | 0.03119 | -0.67751 | -0.32644 | -0.39538 | p_pda |
| | 1 | 0.51702 | 0.43974 | -0.43811 | 0.21160 | 0.04478 | 0.43793 | -0.15762 | 0.69521 | v_eng |
| | | 1 | 0.29381 | -0.29332 | 0.17137 | 0.03721 | 0.29309 | 0.02958 | 0.57389 | T_eng |
| | | | 1 | -0.99994 | 0.90097 | -0.02250 | 0.99974 | 0.40202 | 0.40686 | v_p1_vf |
| | | | | 1 | -0.90168 | 0.02317 | -0.99972 | -0.40348 | -0.40528 | v_p2_vf |
| | | | | | 1 | -0.02011 | 0.90179 | 0.47927 | 0.26713 | v_p_air |
| | | | | | | 1 | -0.02229 | -0.15642 | 0.12978 | v_p_amb |
| | | | | | | | 1 | 0.40229 | 0.40493 | a_vf_d |
| | | | | | | | | 1 | -0.06897 | a_cvcp |
| | | | | | | | | | 1 | v_T_air |

□ Stima delle relazioni tra le grandezze di ingresso

Sulla base del *dataset sperimentale*:

- Matrice di correlazione di rango C' (10x10) in termini dei *coefficienti di Spearman*



↙

| p_pda | v_eng | T_eng | v_p1_vf | v_p2_vf | v_p_air | v_p_amb | a_vf_d | a_cvcp | v_T_air | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| 1 | -0.52633 | -0.20072 | -0.67754 | 0.67744 | -0.65773 | 0.03119 | -0.67751 | -0.32644 | -0.39538 | p_pda |
| | 1 | 0.51702 | 0.43974 | -0.43811 | 0.21160 | 0.04478 | 0.43793 | -0.15762 | 0.69521 | v_eng |
| | | 1 | 0.29381 | -0.29332 | 0.17137 | 0.03721 | 0.29309 | 0.02958 | 0.57389 | T_eng |
| | | | 1 | -0.99994 | 0.90097 | -0.02250 | 0.99974 | 0.40202 | 0.40686 | v_p1_vf |
| | | | | 1 | -0.90168 | 0.02317 | -0.99972 | -0.40348 | -0.40528 | v_p2_vf |
| | | | | | 1 | -0.02011 | 0.90179 | 0.47927 | 0.26713 | v_p_air |
| | | | | | | 1 | -0.02229 | -0.15642 | 0.12978 | v_p_amb |
| | | | | | | | 1 | 0.40229 | 0.40493 | a_vf_d |
| | | | | | | | | 1 | -0.06897 | a_cvcp |
| | | | | | | | | | 1 | v_T_air |

□ Stima delle relazioni tra le grandezze di ingresso

Sulla base del *dataset sperimentale*:

- Matrice di correlazione di rango C' (10x10) in termini dei *coefficienti di Spearman*



| p_pda | v_eng | T_eng | v_p1_vf | v_p2_vf | v_p_air | v_p_amb | a_vf_d | a_cvcp | v_T_air | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| 1 | -0.52633 | -0.20072 | -0.67754 | 0.67744 | -0.65773 | 0.03119 | -0.67751 | -0.32644 | -0.39538 | p_pda |
| | 1 | 0.51702 | 0.43974 | -0.43811 | 0.21160 | 0.04478 | 0.43793 | -0.15762 | 0.69521 | v_eng |
| | | 1 | 0.29381 | -0.29332 | 0.17137 | 0.03721 | 0.29309 | 0.02958 | 0.57389 | T_eng |
| | | | 1 | -0.99994 | 0.90097 | -0.02250 | 0.99974 | 0.40202 | 0.40686 | v_p1_vf |
| | | | | 1 | -0.90168 | 0.02317 | -0.99972 | -0.40348 | -0.40528 | v_p2_vf |
| | | | | | 1 | -0.02011 | 0.90179 | 0.47927 | 0.26713 | v_p_air |
| | | | | | | 1 | -0.02229 | -0.15642 | 0.12978 | v_p_amb |
| | | | | | | | 1 | 0.40229 | 0.40493 | a_vf_d |
| | | | | | | | | 1 | -0.06897 | a_cvcp |
| | | | | | | | | | 1 | v_T_air |

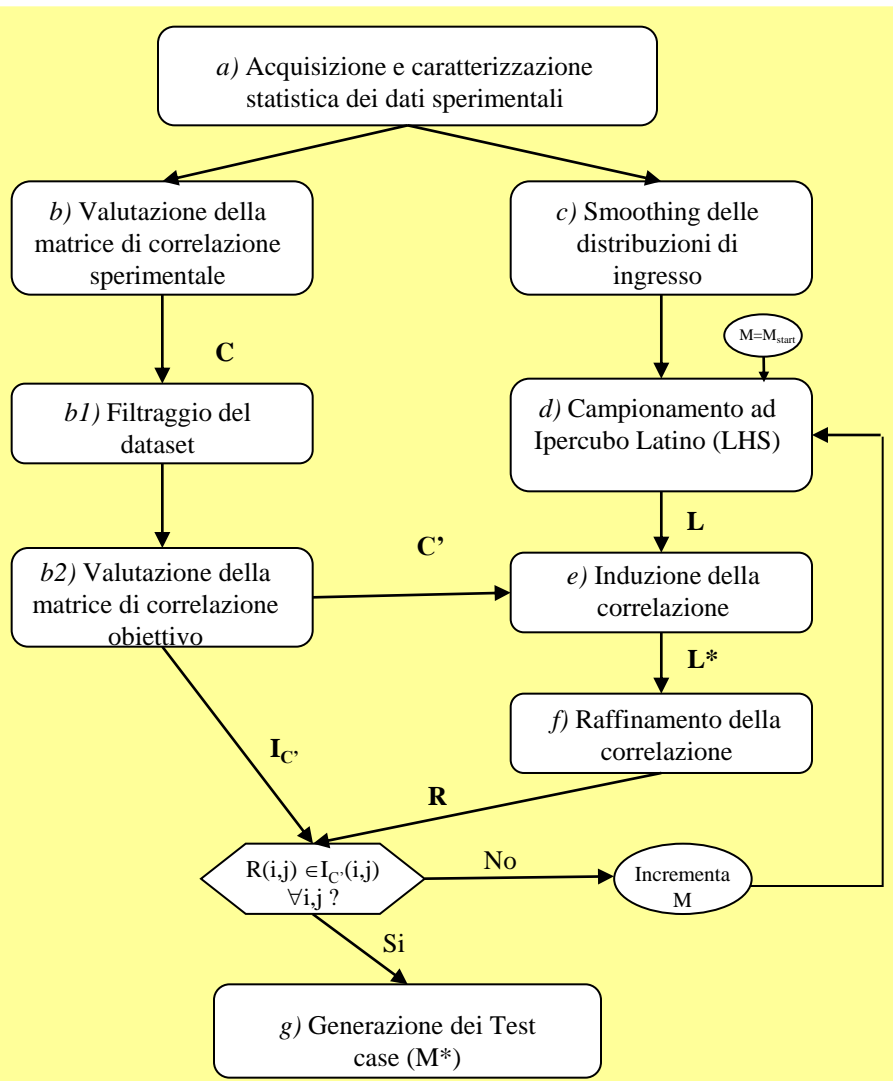
□ Stima delle relazioni tra le grandezze di ingresso

Sulla base del *dataset sperimentale*:

- Matrice di correlazione di rango C' (10x10) in termini dei *coefficienti di Spearman*



- Per ciascun coefficiente di Spearman, l'intervallo di variabilità adottando:
 - Tecnica di *bootstrap percentile* (500 ricampionamenti del dataset)
 - Diversi valori del *livello di confidenza* ($1-\alpha$) associato all'intervallo



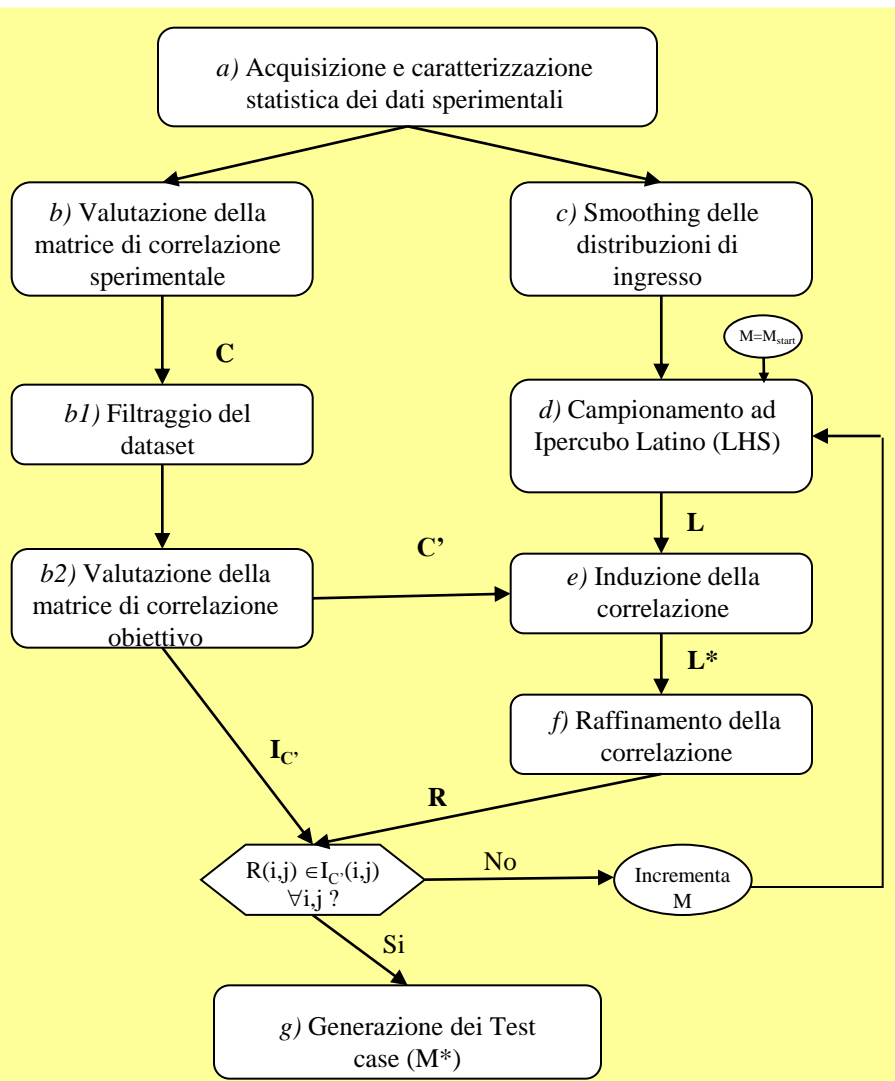
❑ Campionamento del dominio di ingresso

❑ Imposizione delle relazioni di ingresso

❑ Generazione dei test case

❑ Dimensione minima Test Set: $M_{start}=50$

❑ 50 Test Set generati per ciascun valore di livello di confidenza $(1 - \alpha)$



□ Esecuzione dei Test Set

In tabella per ciascun livello di confidenza $(1 - \alpha)$ sono riportati i valore medi di:

- dimensione M^* del Test Set
- percentuale di guasti rilevati (false alarms)

| $1 - \alpha$ | M^* | FA % |
|--------------|-------|------|
| 0.95 | 72 | 1.25 |
| 0.80 | 108 | 0.83 |
| 0.50 | 294 | 0.58 |
| 0.25 | 1288 | 0.49 |
| 0.05 | 4462 | 0.47 |

Conclusioni

- ❑ è stata definita una procedura per il testing di software dedicato alla strumentazione orientata alla verifica delle funzionalità (efficacia percepita dall'utente)

- ❑ la verifica sperimentale del metodo ne ha evidenziato la possibilità di una concreta applicazione nel processo di validazione del software

Publicazioni

- G.Betta, D. Capriglione, A. Pietrosanto, **P. Sommella**, “*Una metodologia di test per la validazione di software impiegato nella strumentazione di misura*”, XXII Congresso Nazionale Associazione Gruppo Misure Elettriche ed Elettroniche (GMEE), 5-7 Settembre 2005, Altavilla Milizia (Pa), pp. 41-42

- G.Betta, D. Capriglione, A. Pietrosanto, **P. Sommella**, “*A Reliable and Robust Methodology for Testing Measurement Software*”, 2006 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 24-27 Aprile 2006, Sorrento (Na), Italy - (di prossima pubblicazione su IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement)

- G.Betta, D. Capriglione, A. Pietrosanto, **P. Sommella**, “*Miglioramento dell'affidabilità e delle prestazioni di una metodologia di test per la validazione di software di misura*”, XXIII Congresso Nazionale Associazione Gruppo Misure Elettriche ed Elettroniche (GMEE), 11-13 Settembre 2006, L'Aquila

- G.Betta, D. Capriglione, A. Pietrosanto, **P. Sommella**, “*Una metodologia per la validazione delle prestazioni metrologiche del software in moderne stazioni automatiche di misura*”, V Congresso Metrologia & Qualità, Marzo 2007, Torino