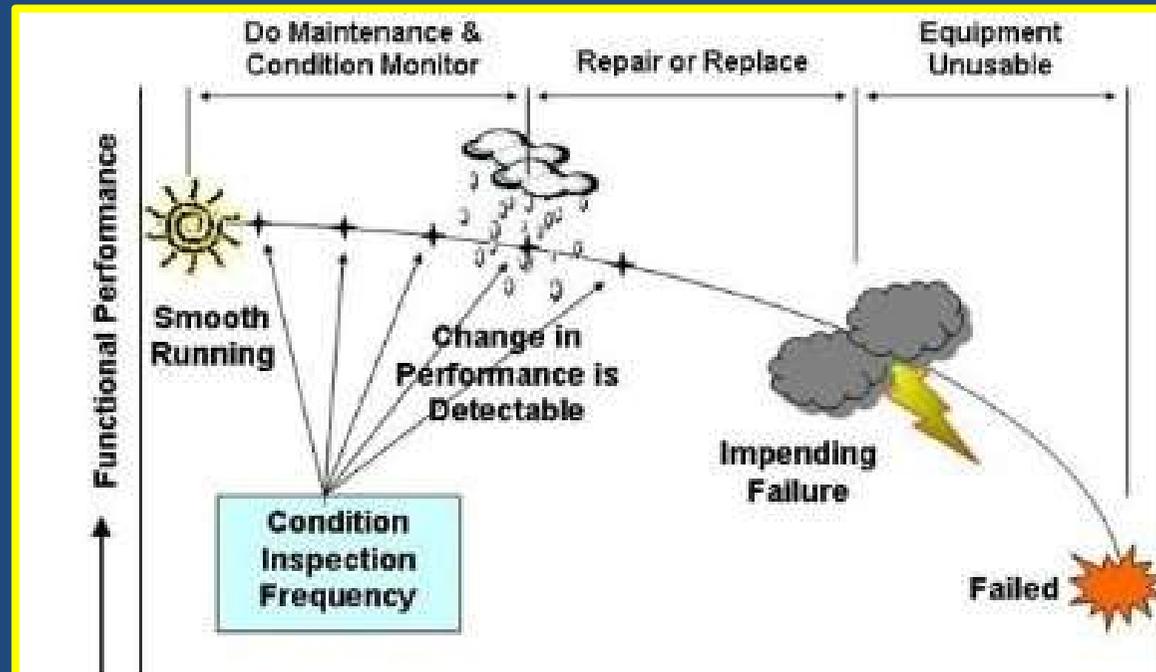


Corso di
Modelli per la Sicurezza

Michele Buonsanti
Dipartimento DICEAM email: michele.buonsanti@unirc.it

Lezione n° 3 (parte prima)



Teoria della affidabilità (1^a parte)

Affidabilità sistemi industriali



Affidabilità sistemi offshore



Affidabilità sistemi aerospaziali



Affidabilità sistemi strutturali



Definizione

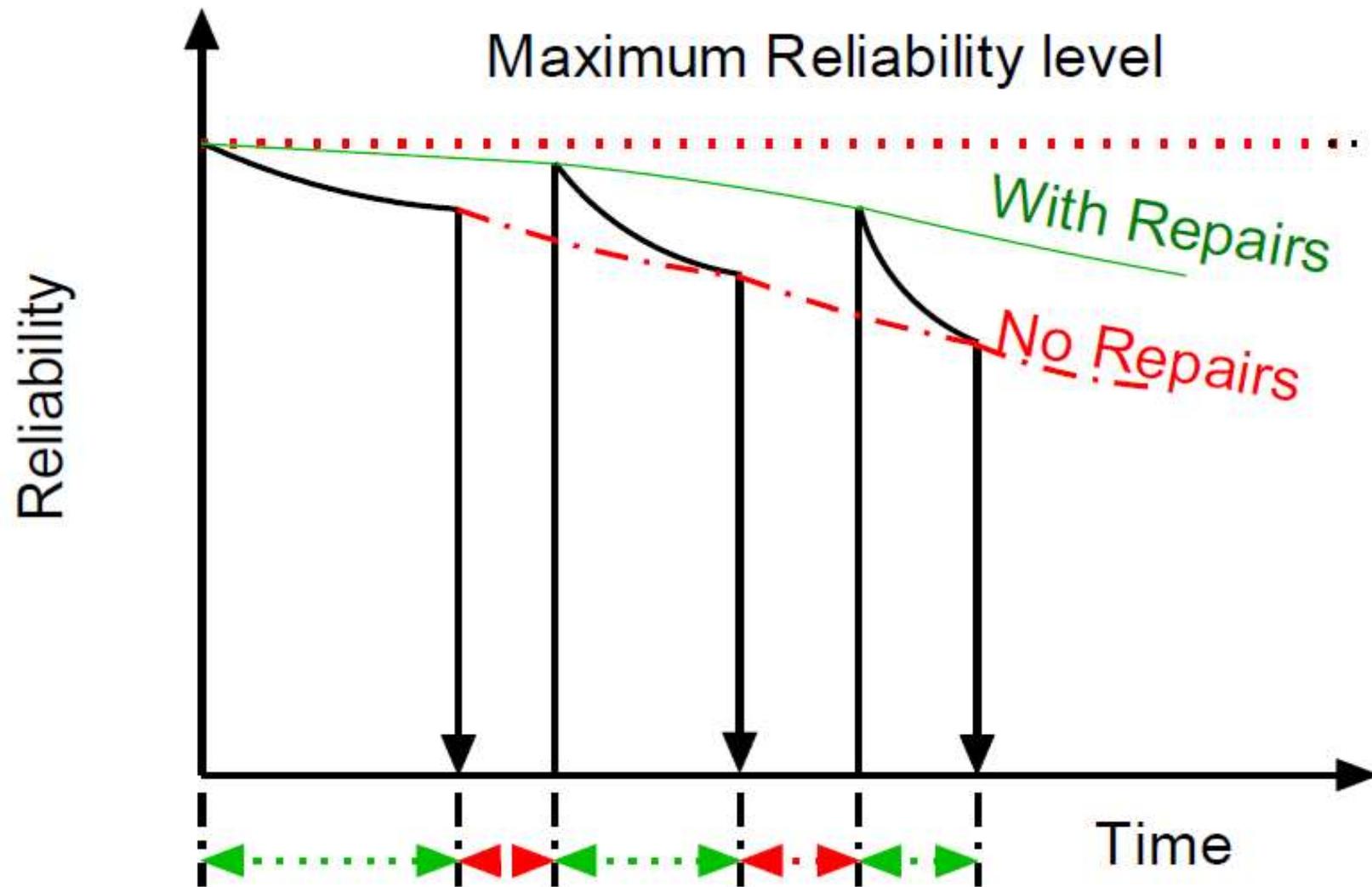
L'affidabilità è la probabilità che un sistema (sotto-sistema, componente) svolga la sua funzione per un determinato periodo di tempo, operando entro specifiche condizioni

Affidabilità = Probabilità

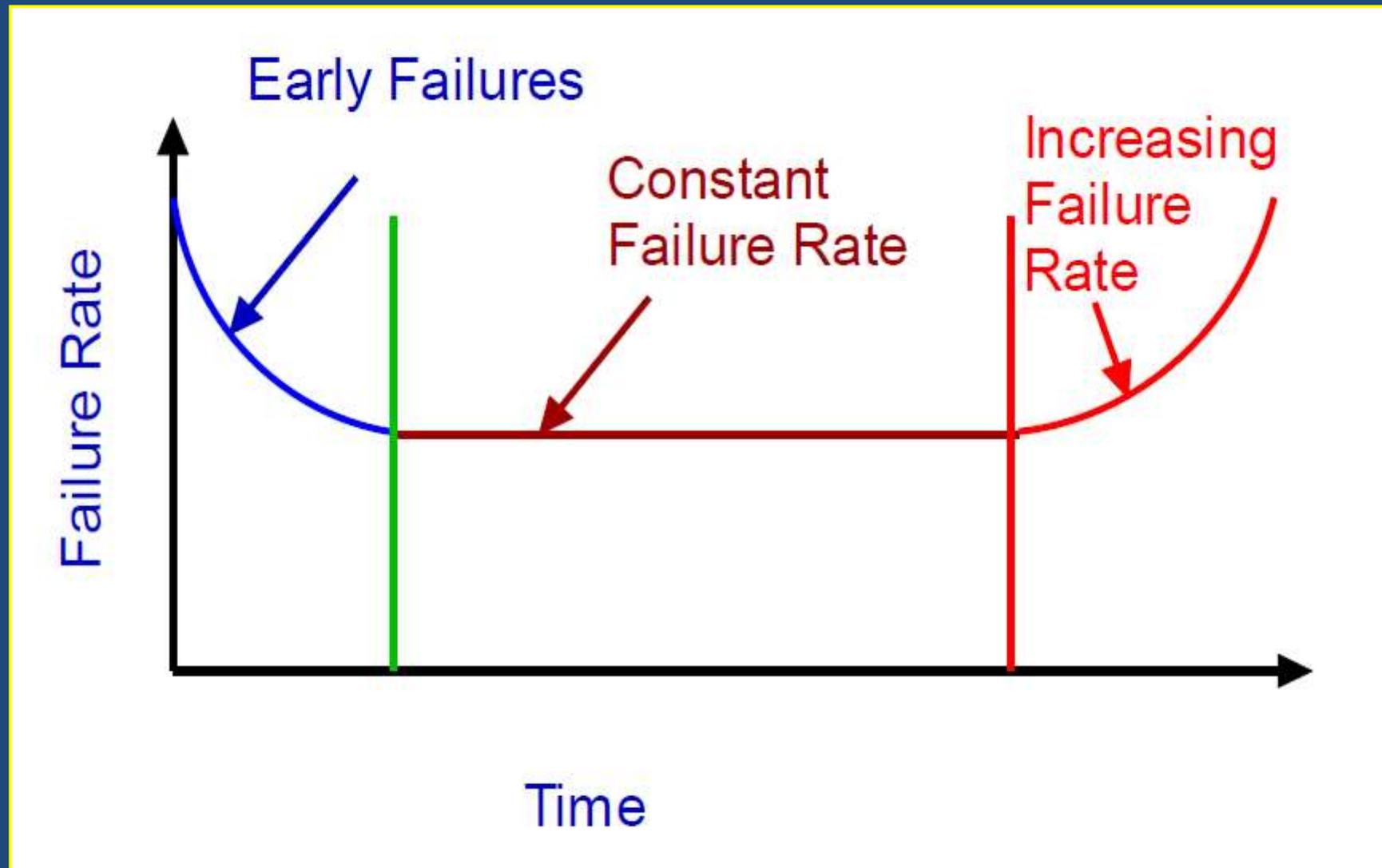
intervallo dei valori: 0-1 - 0%-100%

Design for reliability

Disponibilità come Affidabilità



Tasso di guasto funzione del tempo

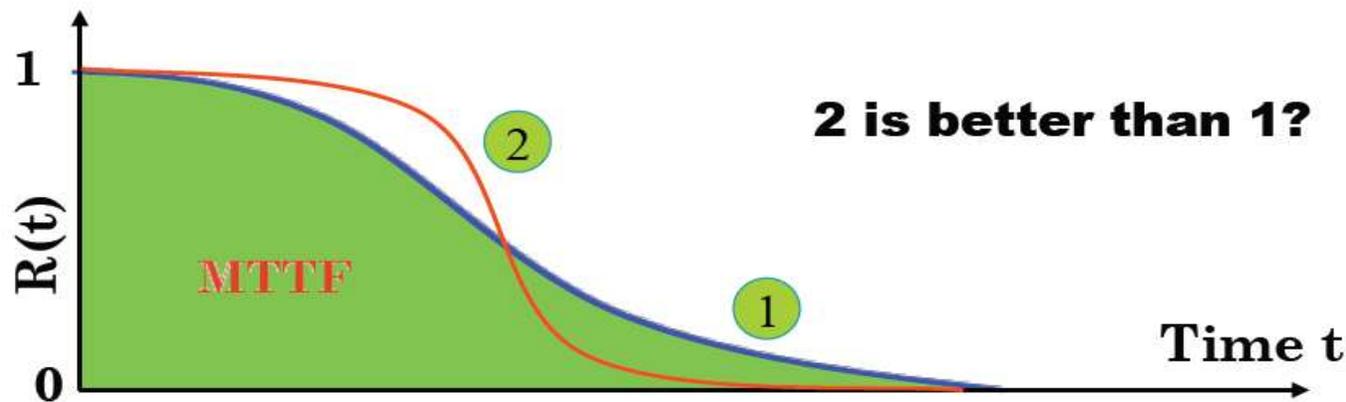


Definizione: MTTF

- **MTTF mean time to failure**: è il tempo medio che passa fino all'occorrenza della failures.

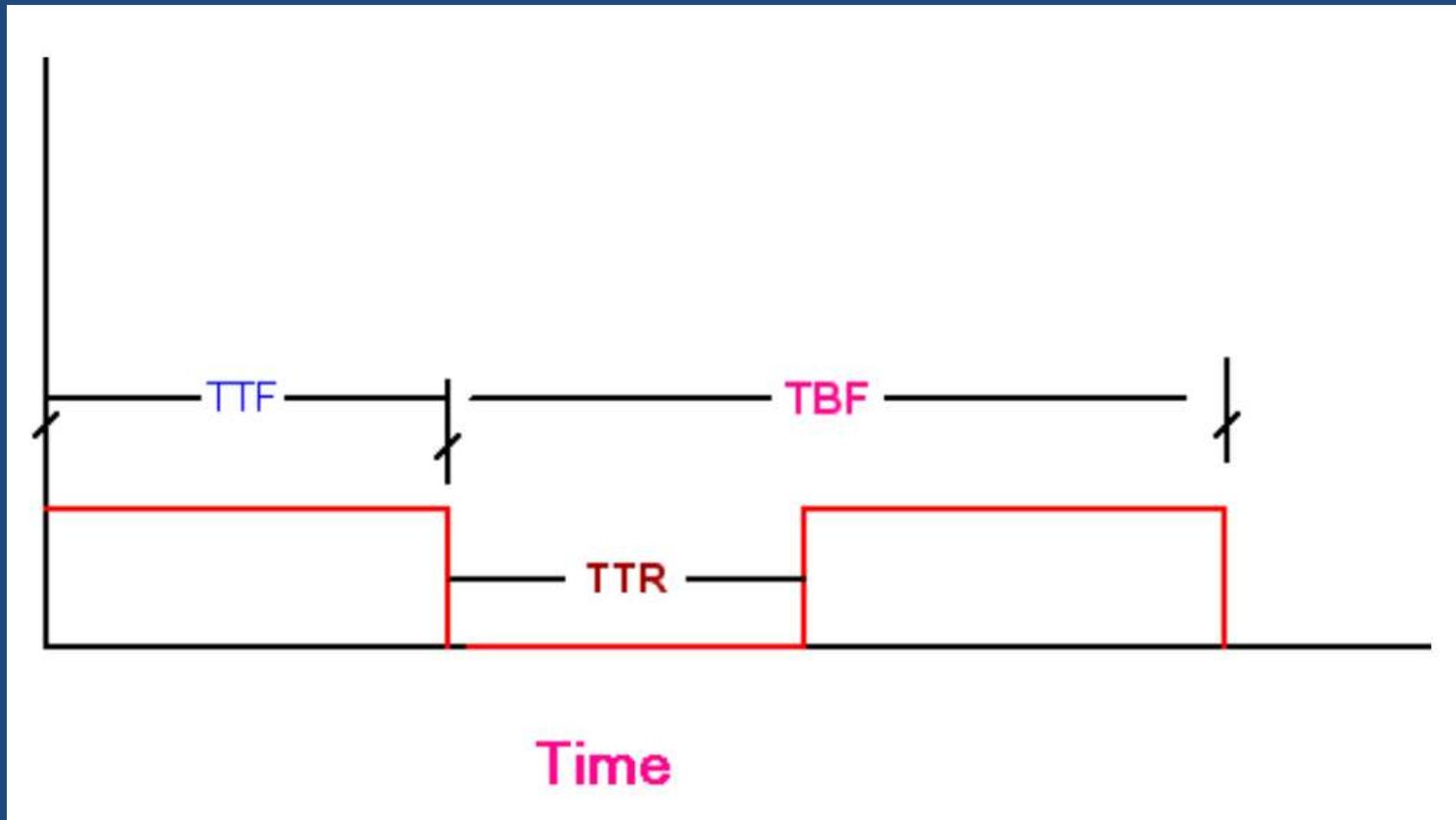
$$MTTF = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} R(t)dt$$

$$MTTF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$



Definizione: MTBF

- **MTBF mean time between failure**: è il tempo medio tra successive failures. E' usato per i sistemi riparabili.



Misure di Affidabilità

Mean Residual Life (MRL): It is the expected remaining life, $T-t$, given that the product, component, or a system has survived to time t .

$$L(t) = E[T - t | T \geq t] = \frac{1}{R(t)} \int_t^{\infty} \tau f(\tau) d\tau - t$$

Failure Rate (FITs failures in 10^9 hours): The failure rate in a time interval $[t_1 - t_2]$ is the probability that a failure per unit time occurs in the interval given that no failure has occurred prior to the beginning of the interval.

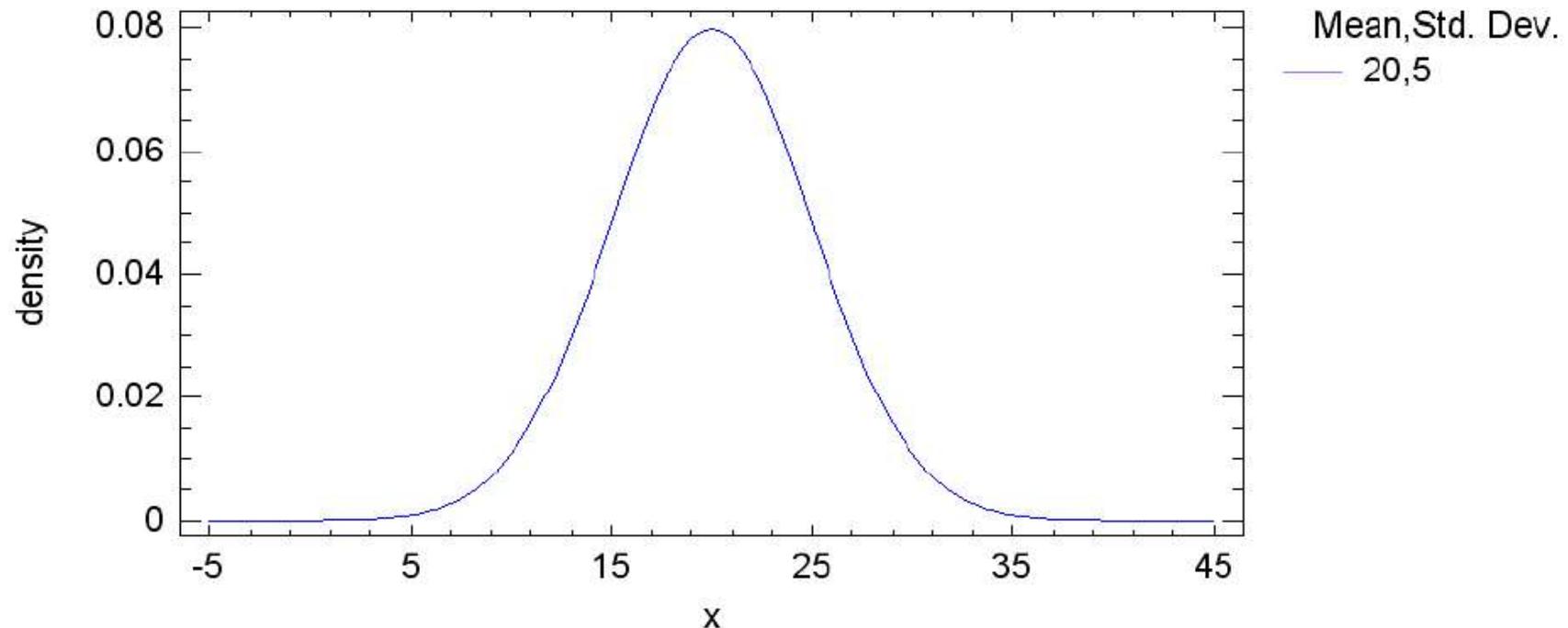
Hazard Function: It is the limit of the failure rate as the length of the interval approaches zero.

Valutazione di Affidabilità

Strength

mean = 20 kg/mm², Sigma=5 kg/mm²

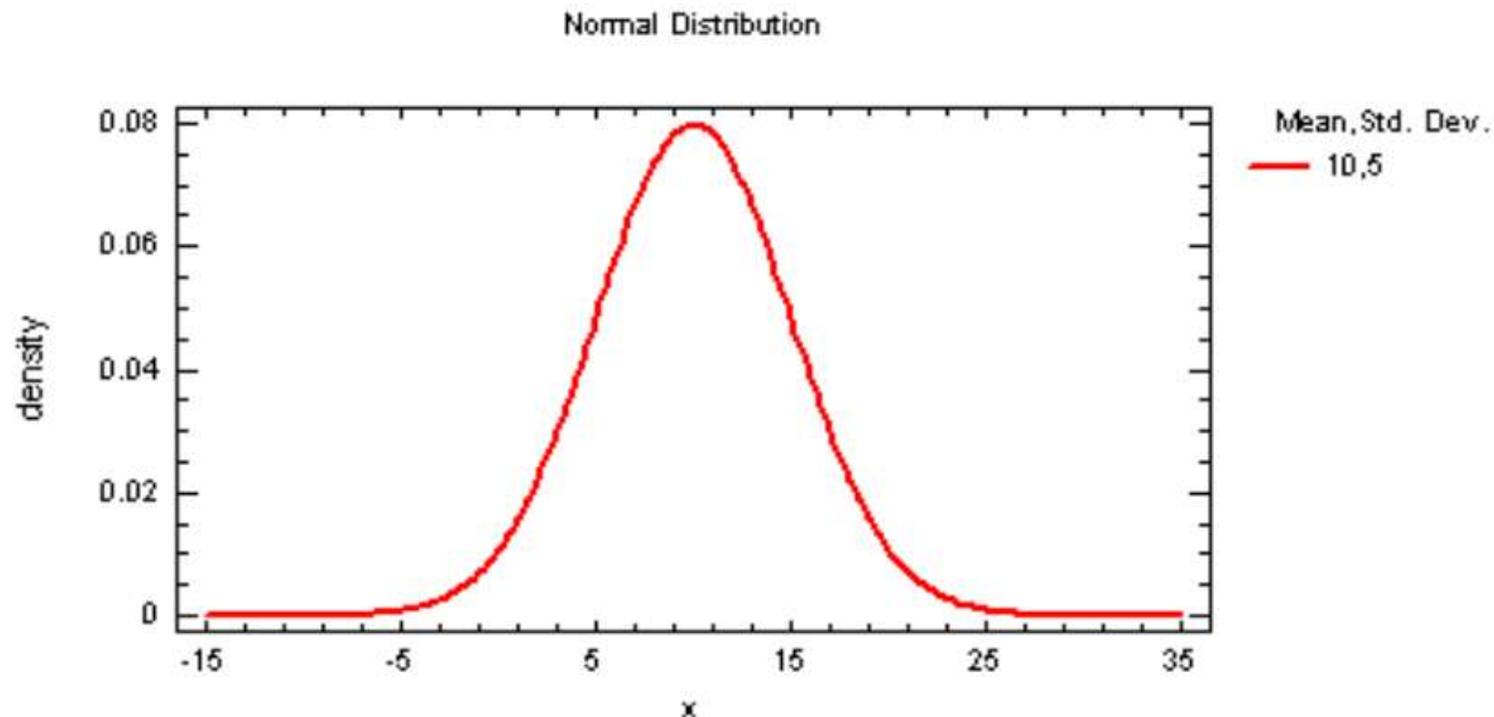
Normal Distribution



Valutazione di Affidabilità

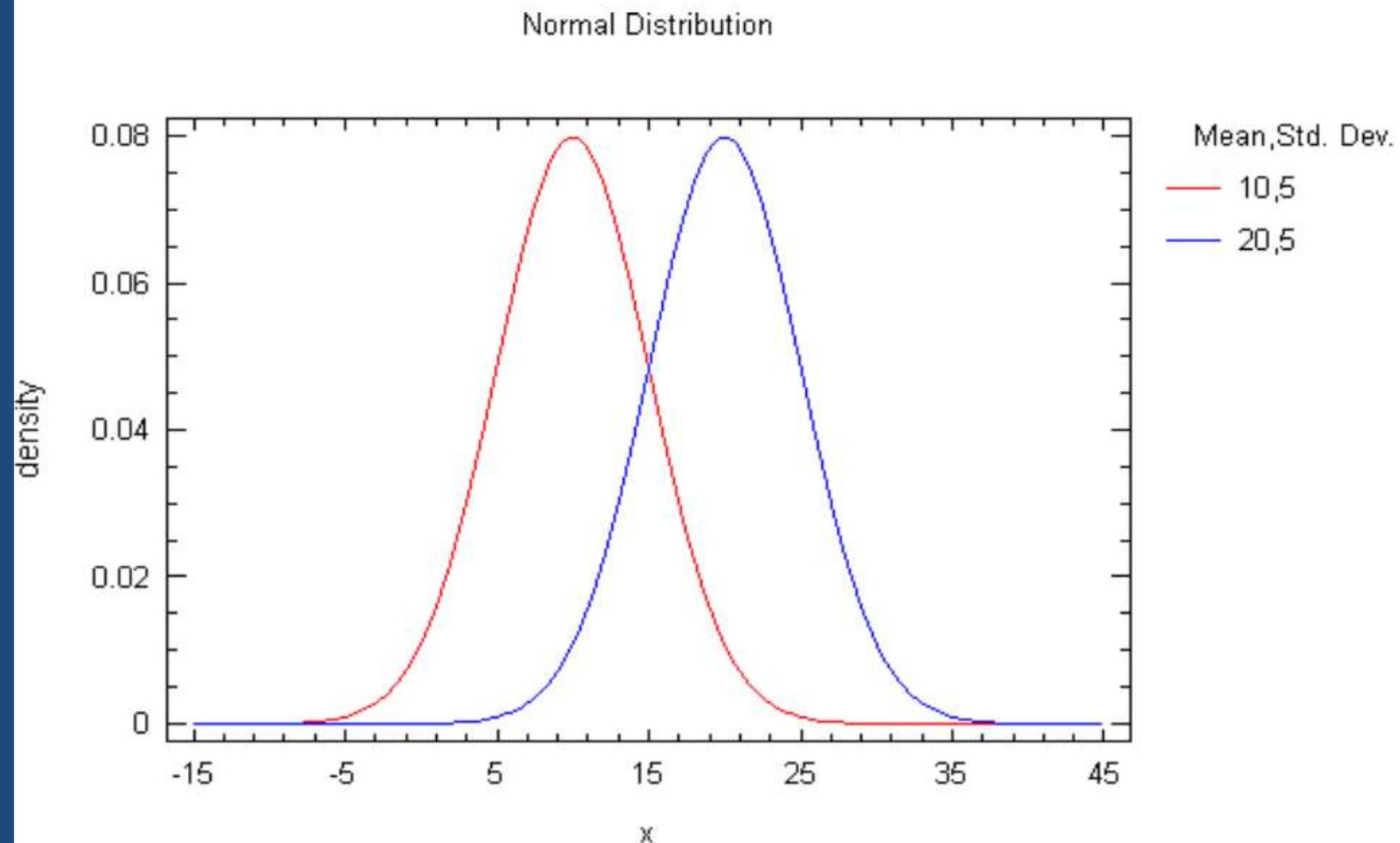
Stress

mean = 10 kg/mm², Sigma=5 kg/mm²



Valutazione comparativa

Stress-Strength



Fattori di Sicurezza e Affidabilità

S = variabile random di resistenza

s = variabile random di stress

Posto resistenza e stress come variabili random con una funzione densità normale allora la variabile random $Y = S - s$ è normalmente distribuita.

Segue che l'affidabilità è determinata come:

$$R = P(y \geq 0)$$

Fattore di sicurezza = 2

Probabilità di failure
= 0.078652

Affidabilità = 0.921348

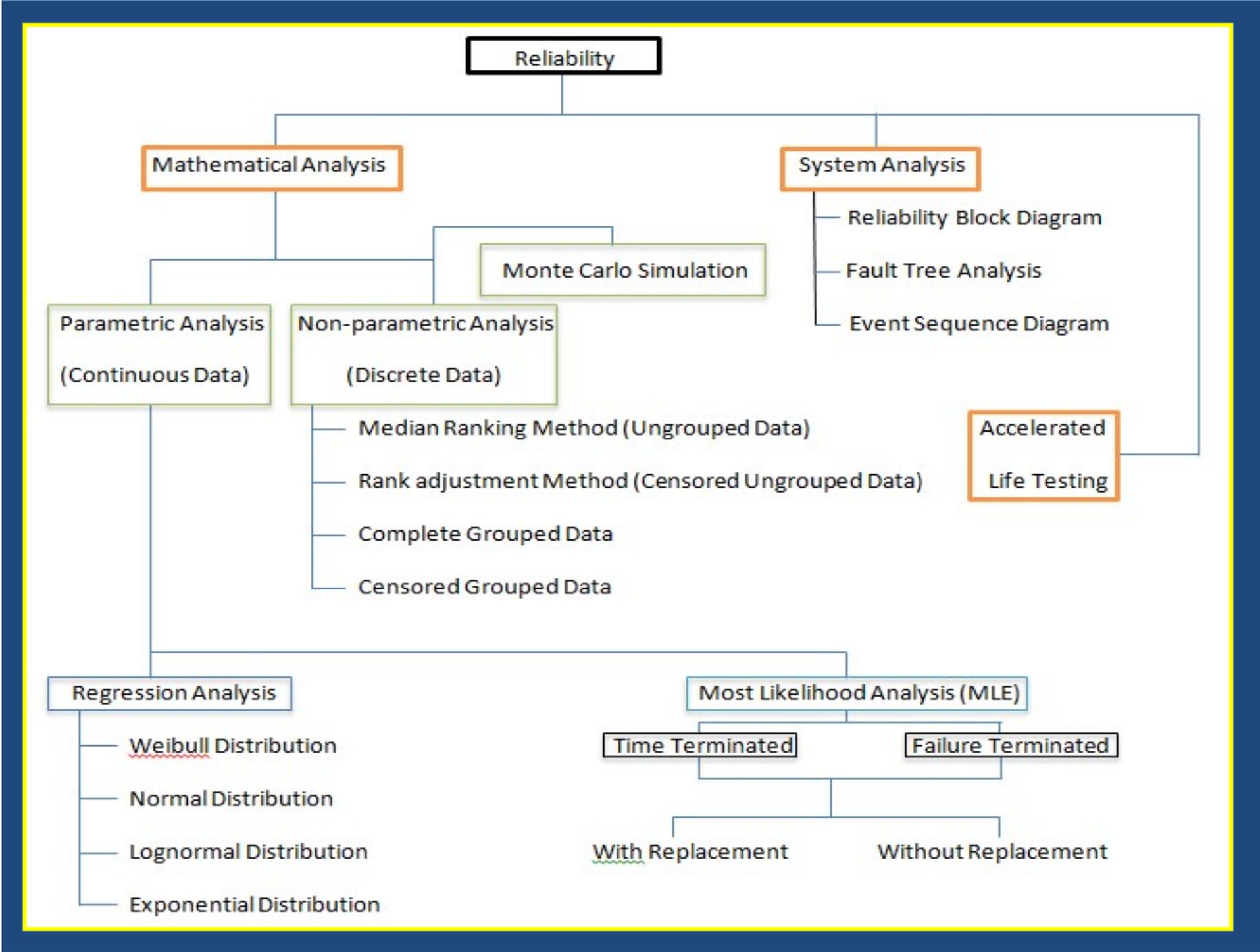
$$R = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\frac{(\mu_S - \mu_s)}{\sqrt{\sigma_S^2 + \sigma_s^2}}}{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

$$z_0 = \frac{\mu_S - \mu_s}{\sqrt{\sigma_S^2 + \sigma_s^2}}$$

z = variabile random standard

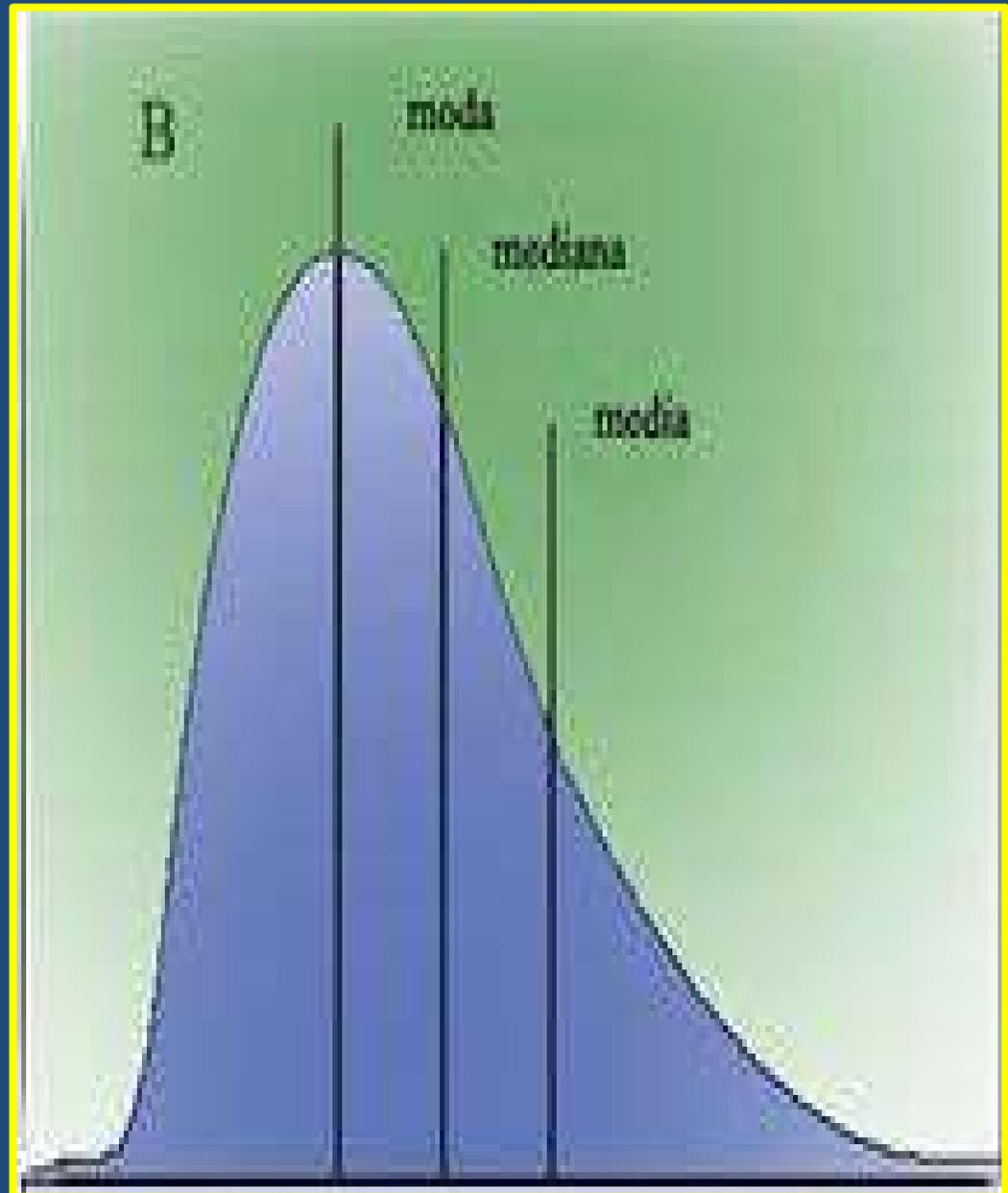
μ_S, μ_s = valore medio di resistenza e di stress

σ_S, σ_s = deviazione standard di resistenza e di stress

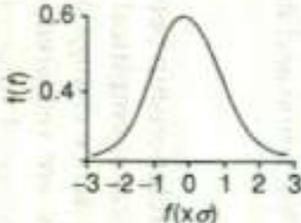
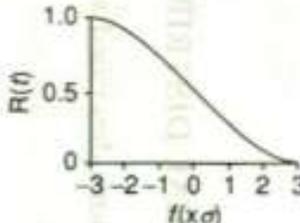
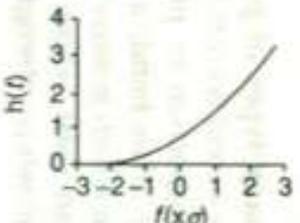
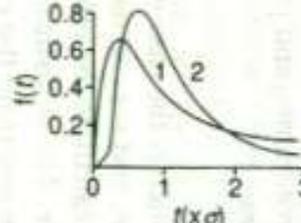
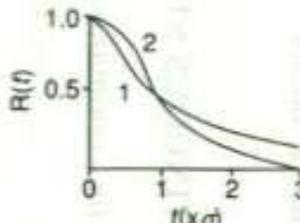
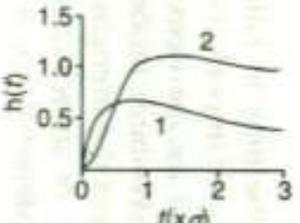
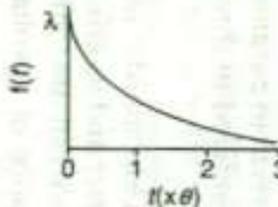
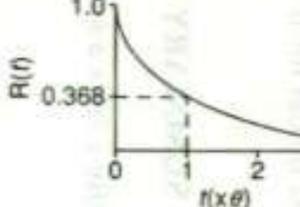
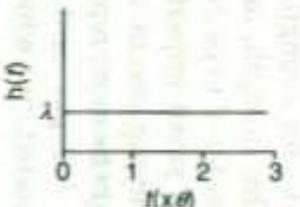


Distribuzioni: parametri

Mean	Median	Mode
The sample mean can be used to estimate the population mean, which is the average of all possible outcomes	It is the measure of the central tendency, which is the mid point of the distribution It is the point at which half the measured values fall to either side	It is the value at which the distribution peaks.



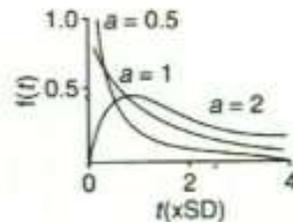
Distribuzioni: plots

Type of distribution	Parameters	Probability density function, $f(t)$	Reliability function, $R(t) = 1 - F(t)$	Hazard function (instantaneous failure rate). $h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$
Normal	Mean, μ Standard deviation, σ	 <p>A bell-shaped curve centered at 0 on the x-axis, which is labeled $t(x\sigma)$. The y-axis is labeled $f(t)$ and ranges from 0 to 0.6.</p> $f(t) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$	 <p>A curve starting at 1.0 on the y-axis and decreasing as $t(x\sigma)$ increases from -3 to 3.</p> $R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$	 <p>A curve starting at 0 on the y-axis and increasing as $t(x\sigma)$ increases from -3 to 3.</p> $h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \text{ (general } R(t) \text{ expression)}$
Lognormal	Mean, μ Standard deviation, σ	 <p>Two curves, labeled 1 and 2, starting at 0 and increasing to a peak before decreasing. Curve 2 is taller and narrower than curve 1. The x-axis is labeled $t(x\sigma)$ and ranges from 0 to 3. The y-axis is labeled $f(t)$ and ranges from 0 to 0.8.</p> $f(t) = \frac{1}{\sigma t(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$	 <p>Two curves, labeled 1 and 2, starting at 1.0 on the y-axis and decreasing as $t(x\sigma)$ increases from 0 to 3. Curve 2 decreases more rapidly than curve 1.</p> $R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$	 <p>Two curves, labeled 1 and 2, starting at 0 on the y-axis and increasing to a peak before decreasing. Curve 2 peaks higher than curve 1. The x-axis is labeled $t(x\sigma)$ and ranges from 0 to 3. The y-axis is labeled $h(t)$ and ranges from 0 to 1.5.</p> $h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \text{ (general } R(t) \text{ expression)}$
Exponential	Failure rate, λ MTBF (=SD), θ $\theta = \lambda^{-1}$	 <p>A curve starting at λ on the y-axis and decreasing as $t(x\theta)$ increases from 0 to 3.</p> $f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$	 <p>A curve starting at 1.0 on the y-axis and decreasing as $t(x\theta)$ increases from 0 to 3. A dashed line indicates that at $t(x\theta) = 1$, the reliability $R(t)$ is 0.368.</p> $R(t) = \exp(-\lambda t)$	 <p>A horizontal line at $h(t) = \lambda$ on the y-axis, indicating a constant failure rate. The x-axis is labeled $t(x\theta)$ and ranges from 0 to 3.</p> $h(t) = \lambda = \theta^{-1}$

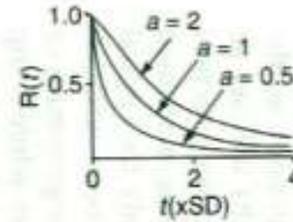
Distribuzioni: plots

Gamma

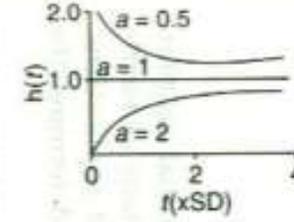
Failure rate, λ
 Events per failure,
 or Time to ath
 failure
 $SD = a^{1/2}/\lambda$
 Note: when a is
 an integer
 $\Gamma(a) = (a-1)!$



$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(a)} (\lambda t)^{a-1} \exp(-\lambda t)$$



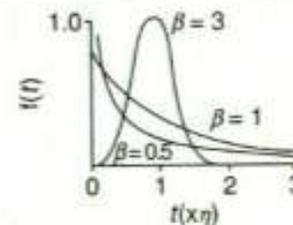
$$R(t) = \frac{\lambda^a}{\Gamma(a)} \int_0^{\infty} t^{a-1} \exp(-\lambda t) dt$$



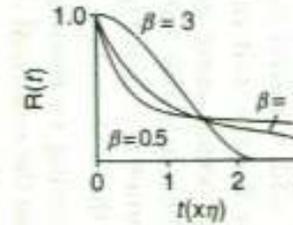
$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \text{ (general expression)}$$

Weibull

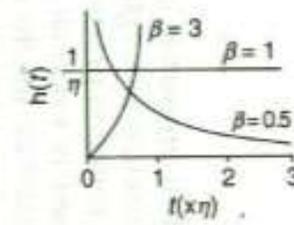
Shape, β Scale
 (characteristic
 life), η
 Location
 (minimum life), γ
 Curves shown
 for $\gamma = 0$



$$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t-\gamma)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$$



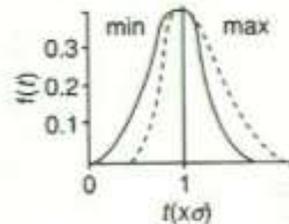
$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$$



$$h(t) = \frac{\beta(t-\gamma)^{\beta-1}}{\eta^\beta}$$

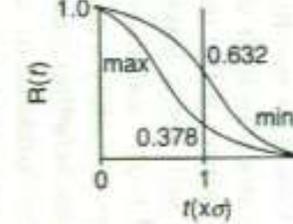
Extreme
 value

Scale, σ
 Location (mode), μ
 $SD = 1.283\sigma$
 Type I
 Means = $\mu \cdot 0.577\sigma$
 Type II is
 In (EV)
 + for max
 - for min



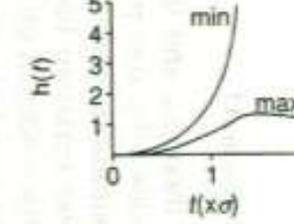
$$f(t) = \frac{1}{\sigma} \exp\left[\frac{(t-\mu)}{\sigma} \left[-\exp\left(-\frac{t-\mu}{\sigma}\right)\right]\right]$$

$$f(t) = \frac{1}{\sigma} \exp\left[\frac{t-\mu}{\sigma} \left(-\exp\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)\right)\right]$$



$$R(t) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{t-\mu}{\sigma}\right)\right]$$

$$R(t) = \exp\left[-\exp\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)\right]$$



$$h(t) = \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$$

$$h(t) = \frac{1}{\sigma} \exp\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$$

Type III
 (min) is
 Weibull

Maximum
 values

Minimum
 values

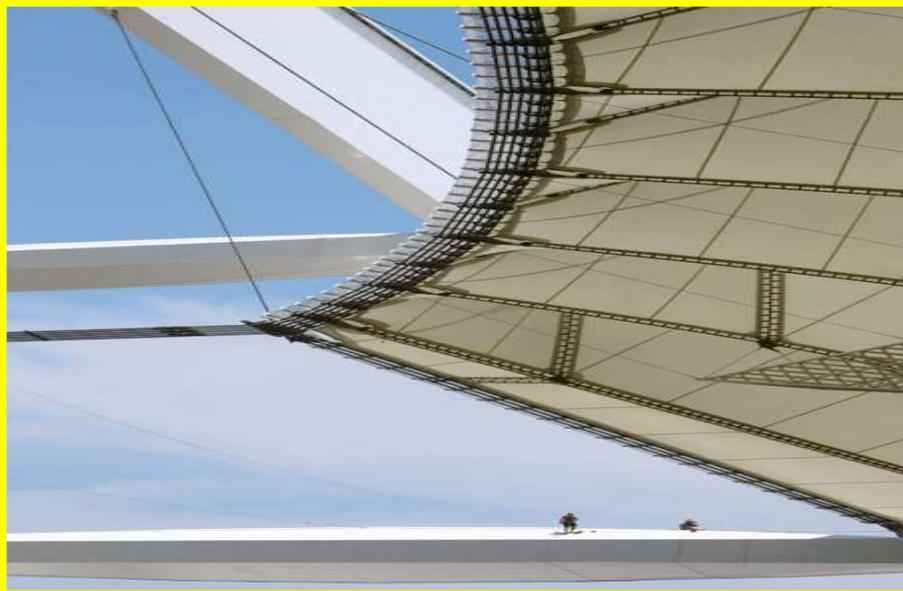
Parametric Analysis

- Parametric Analysis is fitting the data to a known distribution and estimating the parameters of the distribution.
- Parametric Analysis is done by using two most commonly used methods :
 - Regression Analysis
 - Most Likelihood Method
- Having got a fit, a statistic is calculated to estimate the goodness of the fit after which a confidence interval of the parameters can be found.

Regression Analysis

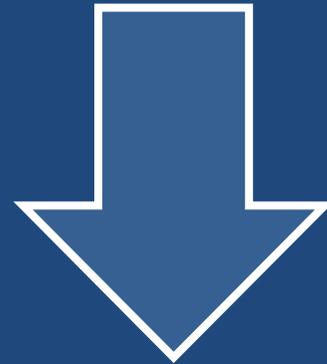
- Most commonly used continuous distribution are
 - Weibull Distribution
 - Normal Distribution
 - Lognormal Distribution
 - Exponential Distribution
- First we linearize the basic CDF by making the required transformation. From that we find parameters of the distribution.

Campi di applicazione



Metodologie per la progettazione di forme complesse

- Complessità geometrica
- Complessità della struttura resistente



Ricerca della forma ottimale



Prestazioni statiche

Approccio progettuale

- Scomposizione statico- concettuale del problema non applicabile.
- Scomposizione esecutiva non applicabile
- Processo realizzativo con tecniche tradizionali
- Tipologie resistenti “classiche”
- Progettazione strutturale con analisi dettagliate
- Fase innovativa: definizione della forma

Ingegneria delle forme libere

Tendenze di architettura → Forme libere → Razionalizzazione

Razionalizzazione

- 1-Post: problemi di approssimazione
- 2-Pre: problemi di progetto

Metodologia risolutiva

- CAD Avanzato CAE algoritmi genetici



Ottimizzazione a posteriori (approssimazione)

Consiste nell'assumere la forma, quale dato di input, sulla quale vengono poi applicate procedure di post-razionalizzazione finalizzate a migliorare le proprietà dell'involucro senza apportare modifiche sensibili alla geometria iniziale.

Ottimizzazione a priori o diretta:

in questo ambito, si cerca di imporre condizioni di ottimo generali (strutturale, funzionale, impiantistico..) già nella fase di concepimento della forma medesima.

Storicamente si può affermare, con certezza, che questo è l'approccio più antico. La ricerca dell'ottimo strutturale ha infatti affascinato i grandi ingegneri del '900 (es. Nervi, Morandi, Musmeci, Torroja, Gaud, Candela..)

Caratteristiche dell'approccio

- (a) la dualità tra l'analisi geometrica e quella statica
- (b) l'ordine esatto e non invertibile con cui queste si susseguono
- (c) l'iteratività del processo.

Esempi :

- l'impiego congiunto di programmi di modellazione parametrica ed analisi agli elementi finiti
- Riesame critico della statica grafica in ambito tri- dimensionale ed esplorazioni delle varie possibili configurazioni equilibrate della costruzione
- Successiva verifica con analisi FEM

Ingegnerizzazione dell'involucro

- Procedure di CAD avanzato (Rhinoceros)
- **Problema della pannellizzazione:**
- Surface remeshing: tecnica per migliorare la qualità di una mesh o mesh quality improvement (densità regolarità, dimensione orientazione...)
- **Problema della superficie ottimale:**
- Surface smoothing: procedura per l'individuazione, tra tutte le superfici possibili quella più smooth possibile. (minimizzazione di funzionali..)

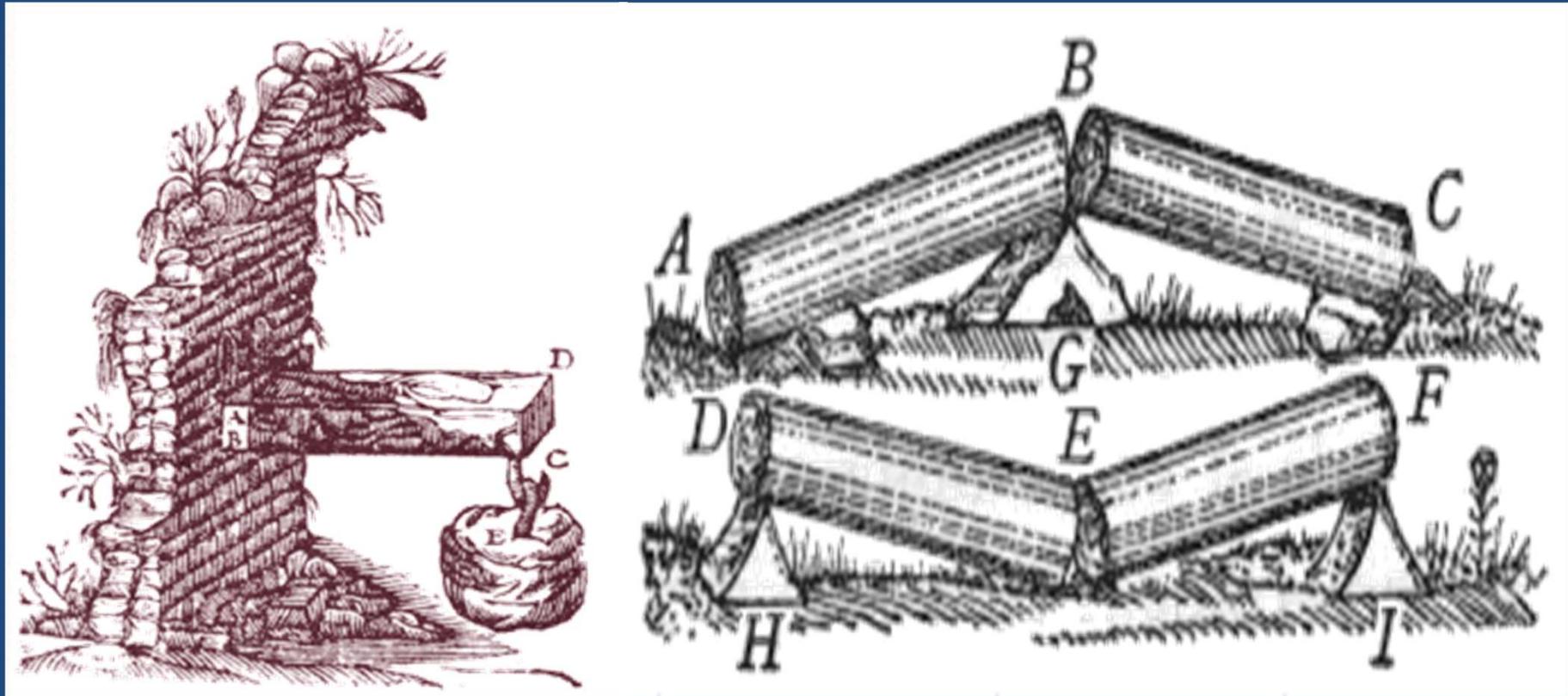
Progettazione integrata forma struttura



“Grid – shell”

Strutture a guscio
composte da elementi
portanti monodimensionali
costituenti l'ossatura cui
poggiano i pannelli di
chiusura portati.

...l'invenzione di forme strutturali "libere" deve comunque soggiacere alle fondamentali leggi dell'equilibrio e della resistenza....

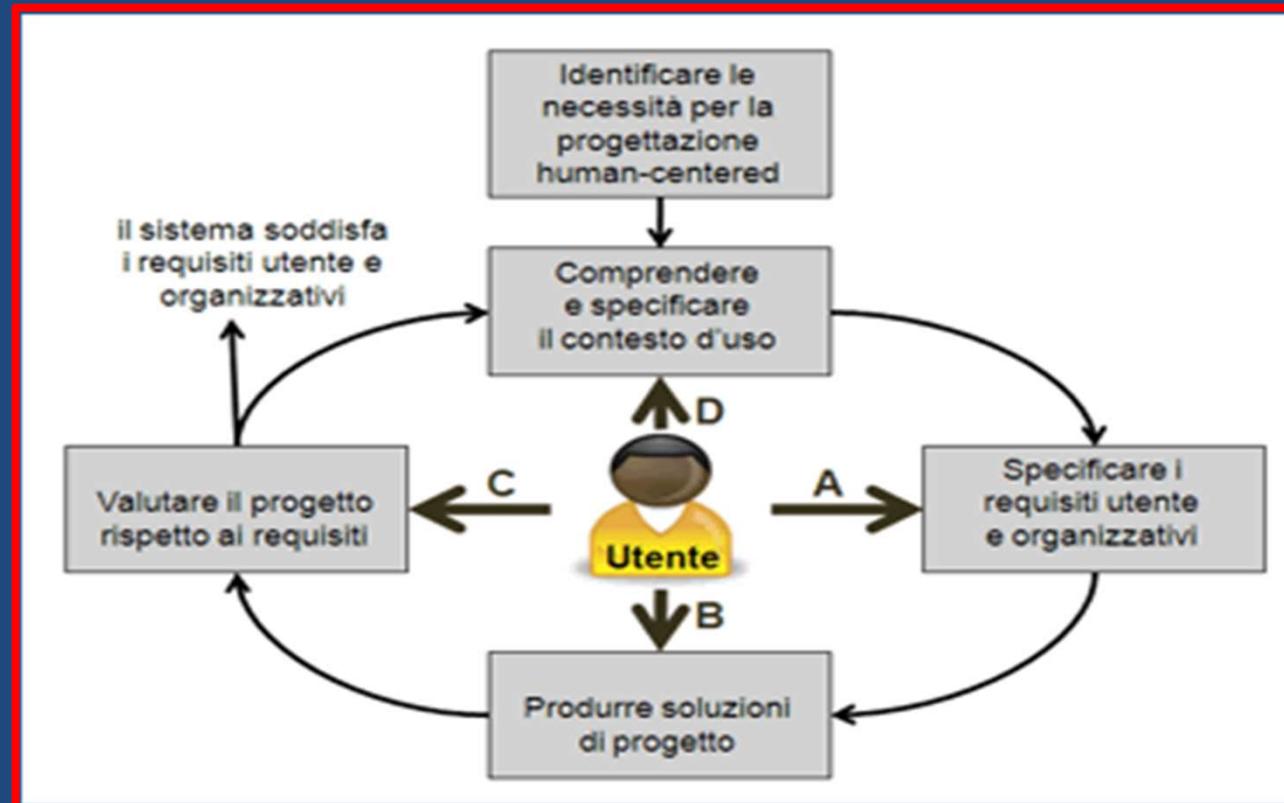


Fonte: " I Discorsi" di Galileo Galilei

Metodologie esecutive: rapporto M-M

Analisi: rapporto ottimale automatizzato in potenza, capacità e velocità.

Sintesi: responsabilità sul controllo, validità dei dati e critica dei risultati





Incertezze progettuali

“alcuni errori di progettazione, derivanti dalla mancanza di interazione tra architettura e ingegneria, secondo le nuove tendenze progettuali, oppure dalla non osservanza di standard etici in linea con il principio di responsabilità sono stati in passato e lo sono in atto, causa di progetti sfortunati che comportano malfunzionamento strutturale e perfino crolli.....”

“considerando che la progettazione moderna è un processo complesso, olistico, trans-multi-interdisciplinare che deve raggiungere il necessario livello di affidabilità, rispettando principi generali e regole di fattibilità allora, l'architettura strutturale si presenta come metodo che porta ad approcci progettuali appropriati e conformi all'etica della responsabilità civile della tecnologica...”

(M. Majowiecki)

Errori progettuali

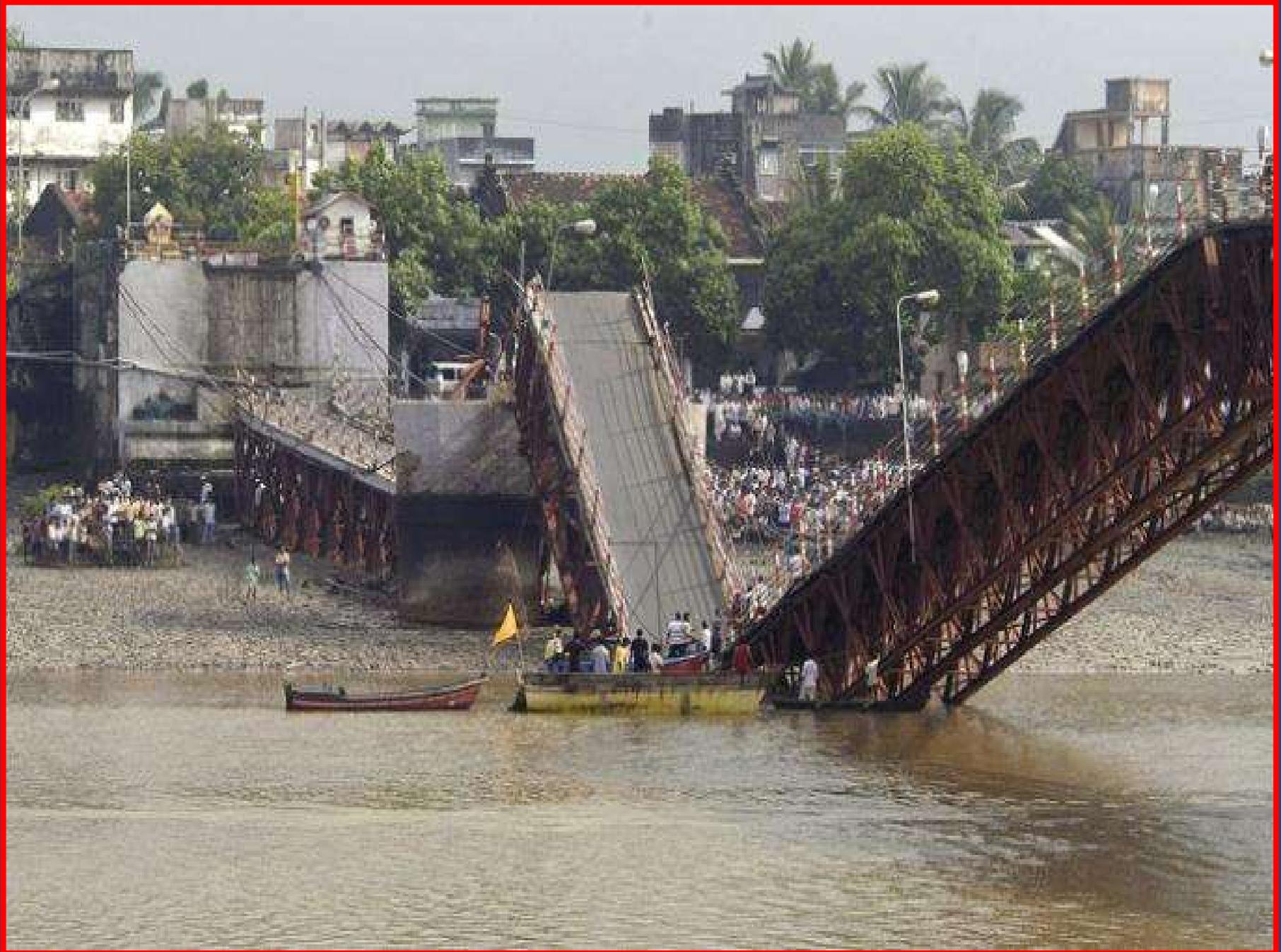




Highland Towers



Languard Terminal Rotterdam



Cause di failures strutturali

- materiali nuovi o insoliti
- metodi di costruzione nuovi o insoliti
- nuovi o insoliti tipi di struttura per dimensioni e morfologia
- deficienza di esperienza e organizzazione delle squadre di progettazione e costruzione
- deficienza di background di ricerca e sviluppo
- clima economico

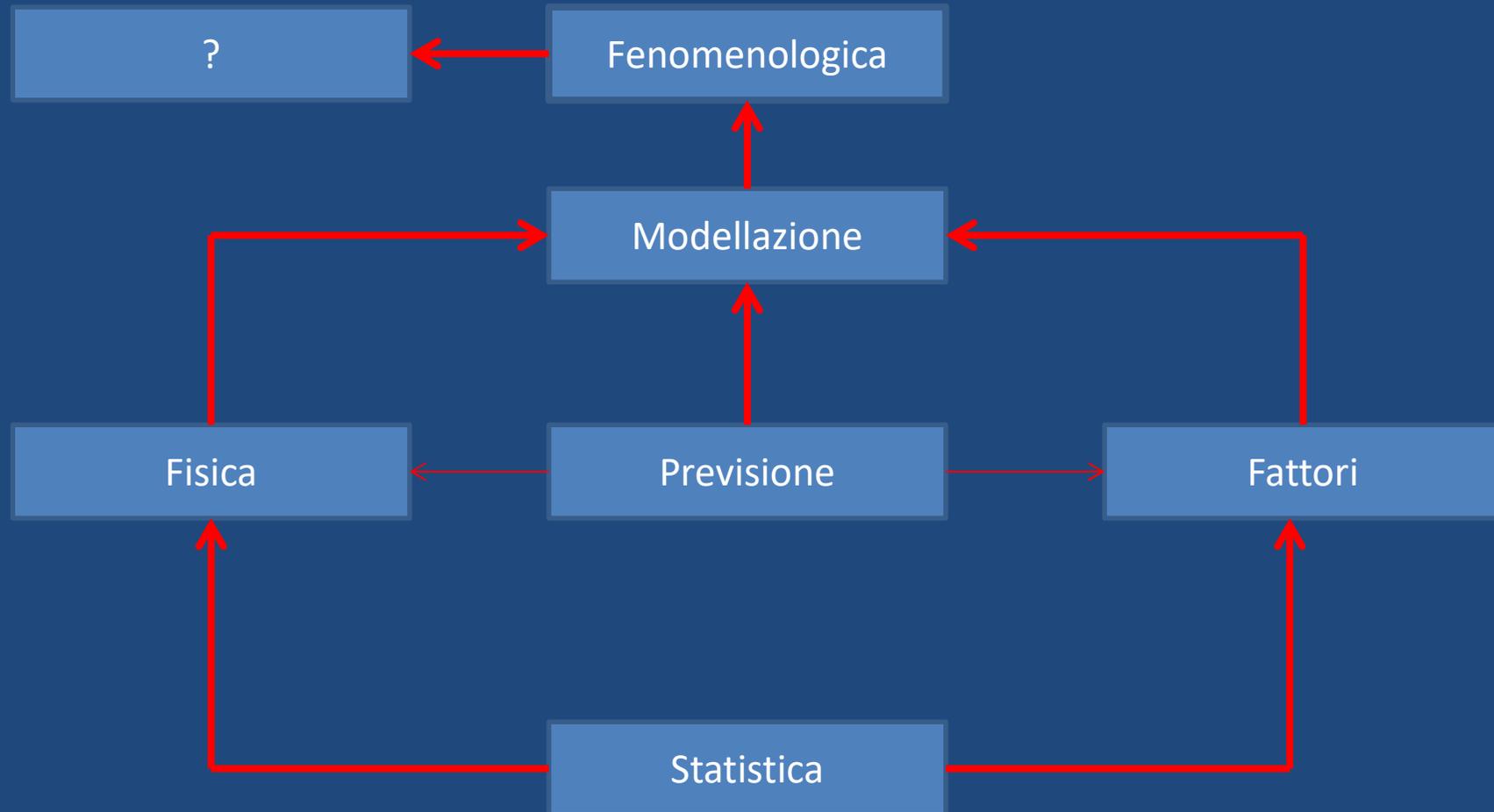
Cause di failures strutturali

Causa	%	Fattore	%
Errata valutazione delle condizioni di carico o del comportamento strutturale	43	Ignoranza, disattenzione, negligenza	35
Errori nei disegni o nei calcoli	7	Dimenticanza, errori, sbagli	9
Insufficienti informazioni nei documenti contrattuali o nelle istruzioni	4	Affidamento ad altri senza sufficiente controllo	6
Contravvenzione alle condizioni dei documenti contrattuali o alle istruzioni	9	Sottovalutazione delle influenze	13
Errata esecuzione della procedura di edificazione	13	Insufficienti conoscenze	25
Uso errato, abuso e/o sabotaggio, catastrofe, deterioramento imprevedibili (in parte "inimmaginabili"?)	7	Situazioni oggettivamente sconosciute (inimmaginabili?)	4
Variazioni irregolari nel carico, la struttura, i materiali, l'esecuzione, ecc.	10	Altro	8

Tabella 3. Principali cause di cedimento. Adattato da Walker (1981).

Tabella 4 – Fattori di errore in casi di cedimento osservati (Adattato da Matousek e Schneider[4])

Incertezza nella valutazione dell'affidabilità (Melchers 1987)



Incertezza nella valutazione dell' affidabilità (Melchers 1987)

TIPOLOGIE DI INCERTEZZA

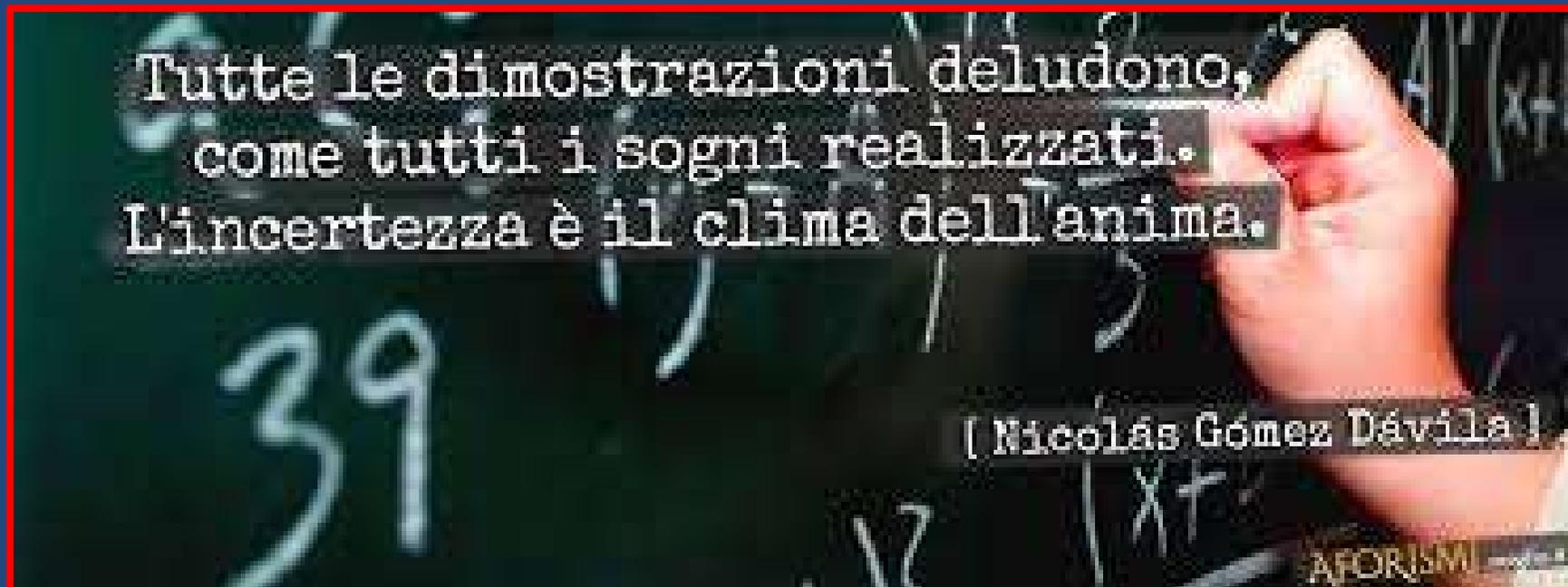
- Incertezza fenomenologica
- Incertezza decisionale
- Fattore umano
- Incertezza della previsione
- Incertezza fisica
- Incertezza della modellazione



Incerteza fenomenologica

Si genera quando la forma della costruzione o la tecnica di progettazione generano incerteza su un qualsiasi aspetto del possibile comportamento della struttura in fase di costruzione, in servizio o soggetta ad azioni estreme.

Accade in progetti che cercano di ampliare lo «stato dell'arte» includendo nuove tecnologie e concetti lasciando spazio alla creatività nella ricerca di un'idea progettuale







Incertezza decisionale

Le incertezze decisionali nella valutazione della affidabilità sono anche legate ai climi politici ed economici quindi nel caso di realizzazioni inusuali.

Il processo decisionale politico ed economico deve essere supportato da una adeguata analisi del valore e dal controllo della qualità delle funzioni che la soluzione progettuale prevede.



Fattore umano

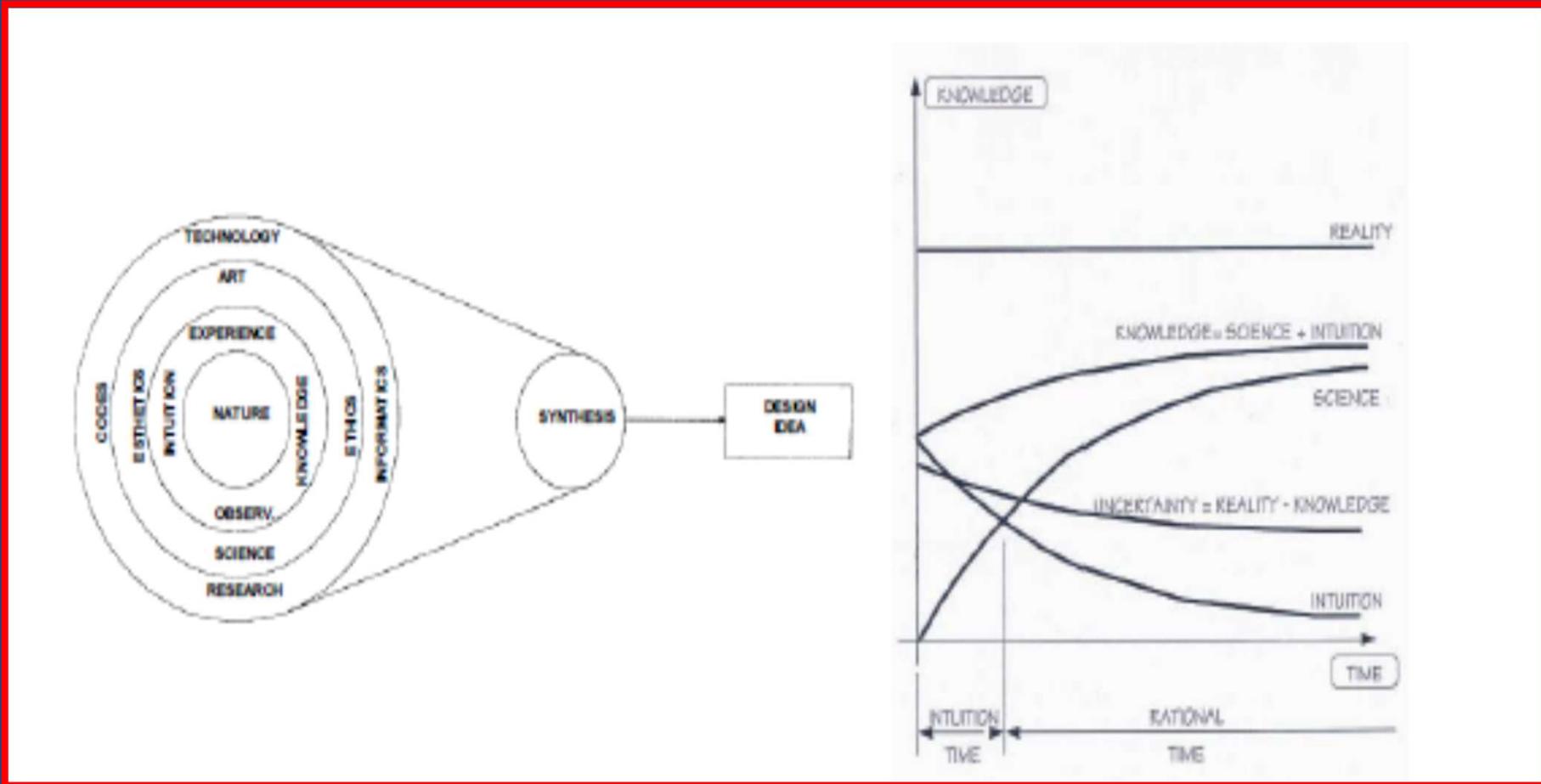
Il processo progettuale deve essere convalidato dalle tre fasi: progetto concettuale, modello analitico, progetto esecutivo.

Tipo di errore	Variabile umana V	Errore umano E	Errore umano grossolano G	
Processo fallimento	di	In un tipo di comportamento sulla base del quale è stata progettata la struttura	In un tipo di comportamento sulla base del quale la struttura <i>non</i> è stata progettata	
Meccanismo errore	di	Uno o più errori durante la progettazione, la documentazione, la costruzione e/o l'utilizzo della struttura	Ignoranza dell'ingegnere o mancata osservazione di comportamento fondamentale. Non conoscenza da parte del professionista di un comportamento fondamentale.	
Possibilità rappresentazione analitica	di	Alta	Media	Da bassa a trascurabile

Tabella 5. Classificazione degli errori umani: Adattato da Baker e Wyatt (1979).



Safety approach alla progettazione



Approccio olistico alla progettazione

Riduzione delle incertezze attraverso la conoscenza