



Prove a fatica a banco idraulico: sviluppo di una metodologia integrata per la validazione del componente 'Basamento motore'



R. Bonacina

Sviluppo meccanico motore e affidabilità



Sommario

- **Introduzione**
- **Il basamento motore SDF**
- **Impostazione della prova**
- **Metodologia di validazione**
- **Analisi dei risultati**
- **Considerazioni finali**



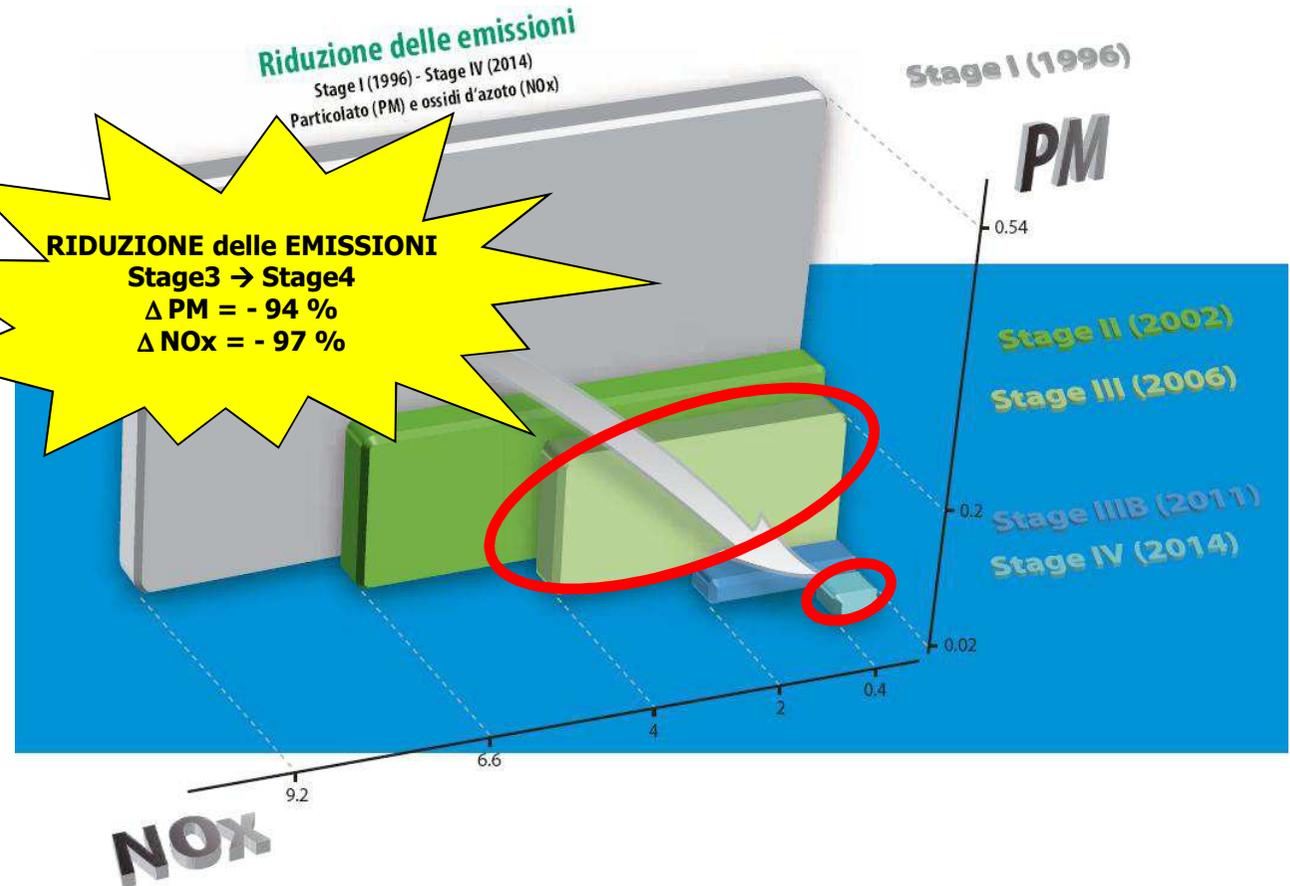
Introduzione



Introduzione

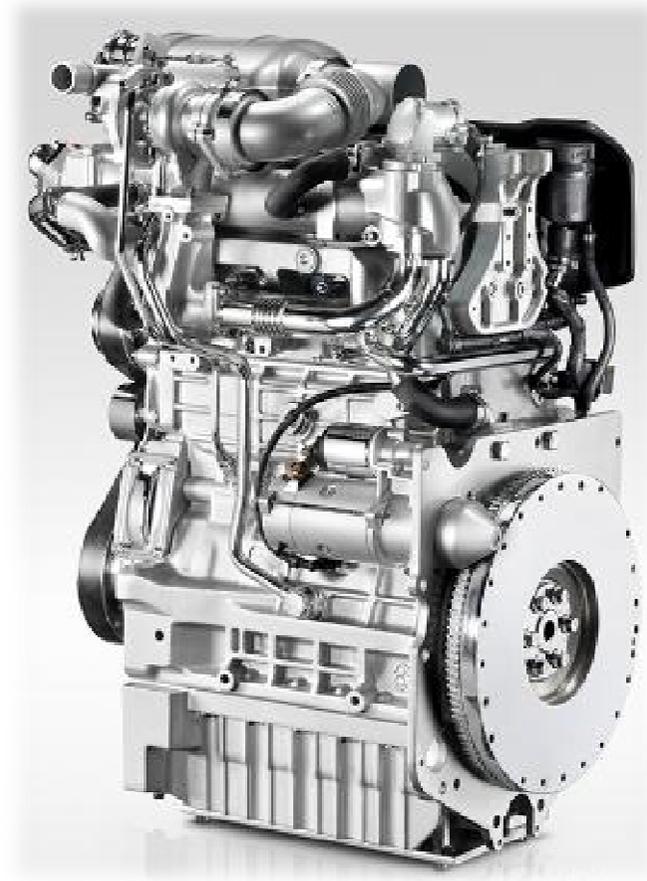
- Le recenti normative internazionali in materia di riduzione delle emissioni inquinanti stanno imponendo target ritenuti impraticabili fino a pochi anni fa, costringendo al design di motori Diesel sempre più efficienti e puliti.

- Il grafico mostra, in modo intuitivo, gli sforzi tecnico-economici che i costruttori dovranno sostenere per soddisfare i recenti standard, in funzione della riduzione degli inquinanti da Stage3 a Stage4.



Introduzione

- In questo contesto, Same Deutz-Fahr Italia ha deciso di sviluppare la nuova famiglia di motori Stage3B e Stage4 'FARMotion' (3 e 4 cilindri).



Introduzione

- Leve per raggiungere i target di emissione, rispetto ai motori SDF Stage3:
 1. Incremento della pressione di iniezione gasolio (Common-rail 2000 bar)
 2. Incremento della PFP (Pick Firing Pressure)
 3. Ottimizzazione della combustione
 4. Ottimizzazione del design
 5. EAS (Exhaust After-treatment System)



Aumento dei carichi dinamici derivanti dalla combustione



Necessità di re-design, verifica e validazione dei maggiori componenti motore, tra cui il basamento



Il basamento motore SDF

Il basamento motore SDF

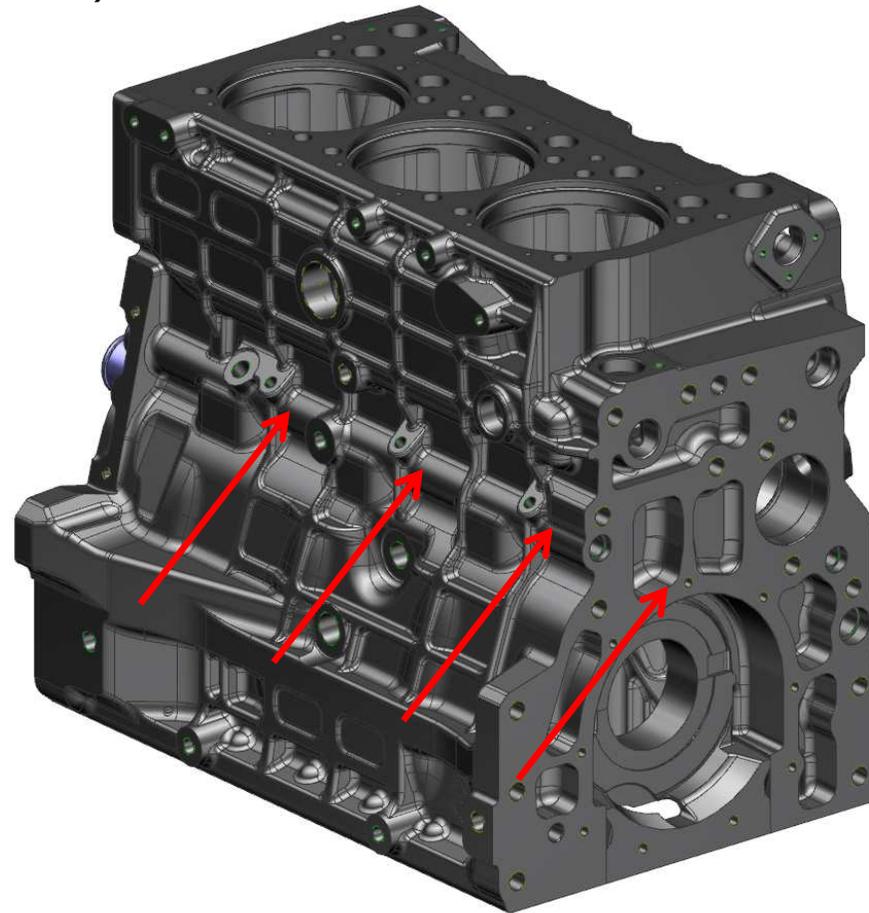
➤ Principali caratteristiche



- Architettura 'in linea' modulare
- Struttura portante (parte del carro veicolare)
- Interfacce veicolo ed ingombri comuni con i motori SAME precedenti
- Materiale 'low tech' (ghisa GJL-250) per reperibilità e costi

Il basamento motore SDF

- Parti strutturali del monoblocco oggetto della validazione a banco prova: Pareti dei Supporti di Banco (Main Bearing Wall - MBW)





Impostazione della prova



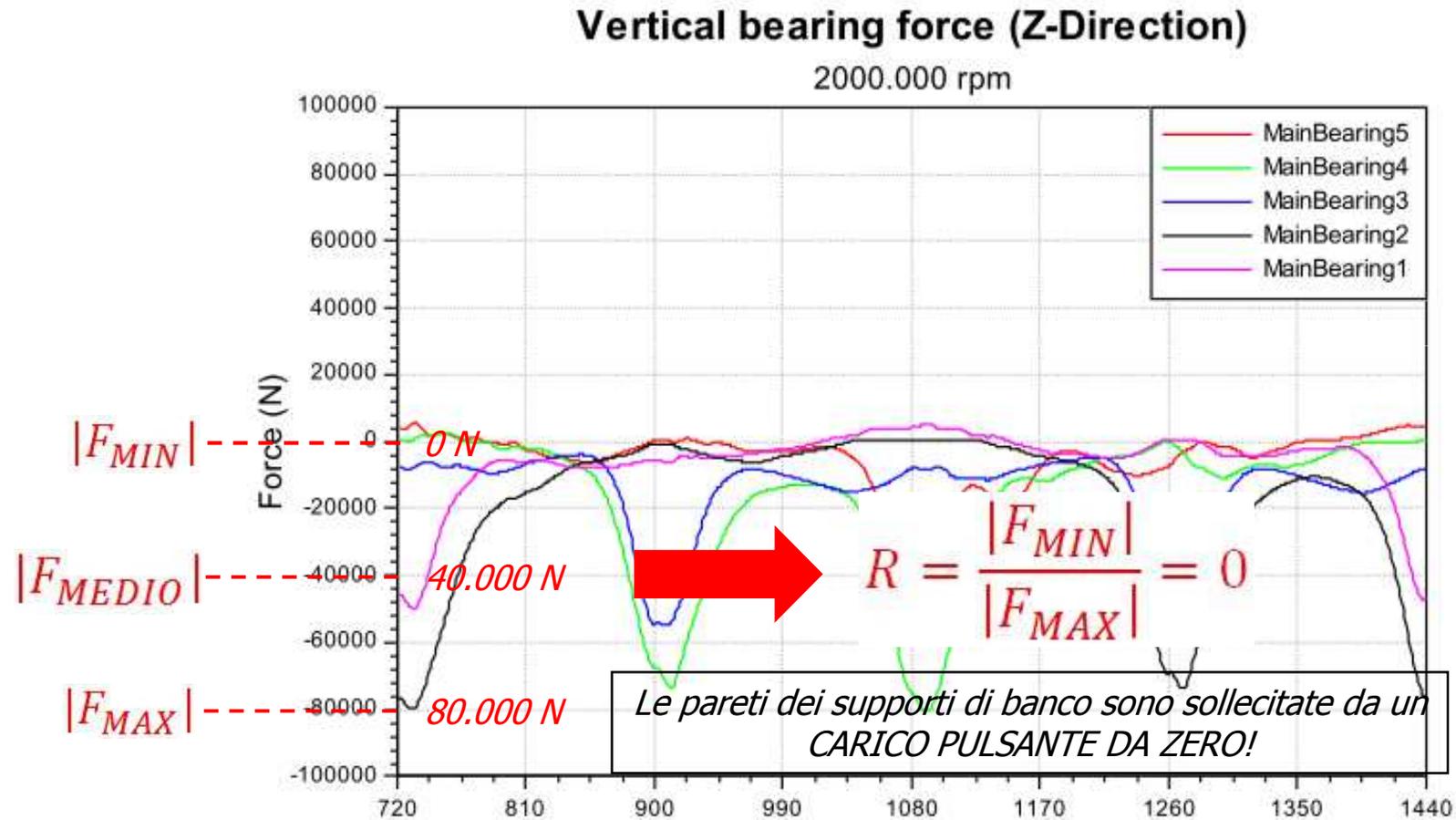
Impostazione della prova

- Lo scopo è stato quello di definire un *test funzionale* in grado di:
 - validare il design delle Pareti dei Supporti di Banco (MBW)
 - validare basamenti provenienti da diversi lotti di pre-serie/fornitori
 - monitorare la consistenza della qualità prodotto (dopo SOP)

- Il layout del banco prova e l'allestimento del basamento motore sono stati definiti e scelti in modo da riprodurre:

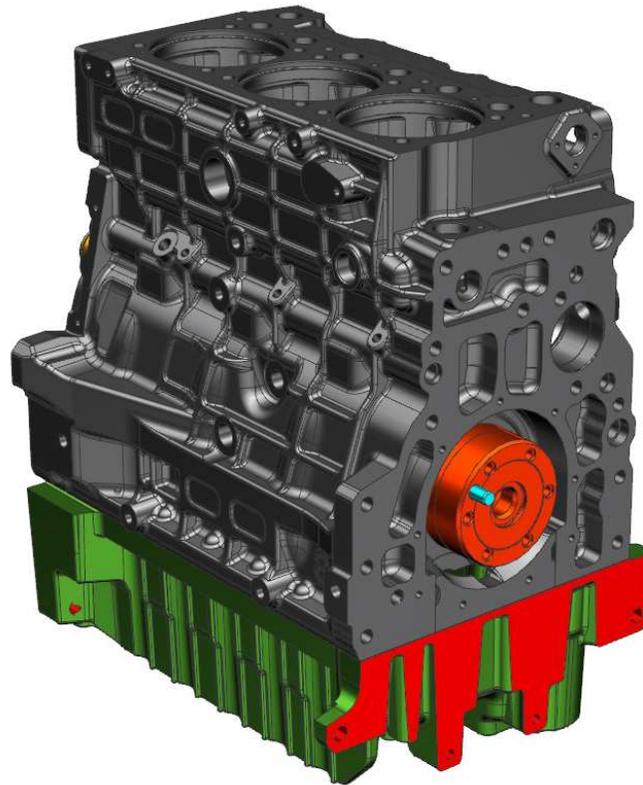
Impostazione della prova

1. Condizione di carico più prossima alla realtà



Impostazione della prova

2. Reali condizioni di vincolo e cedevolezza

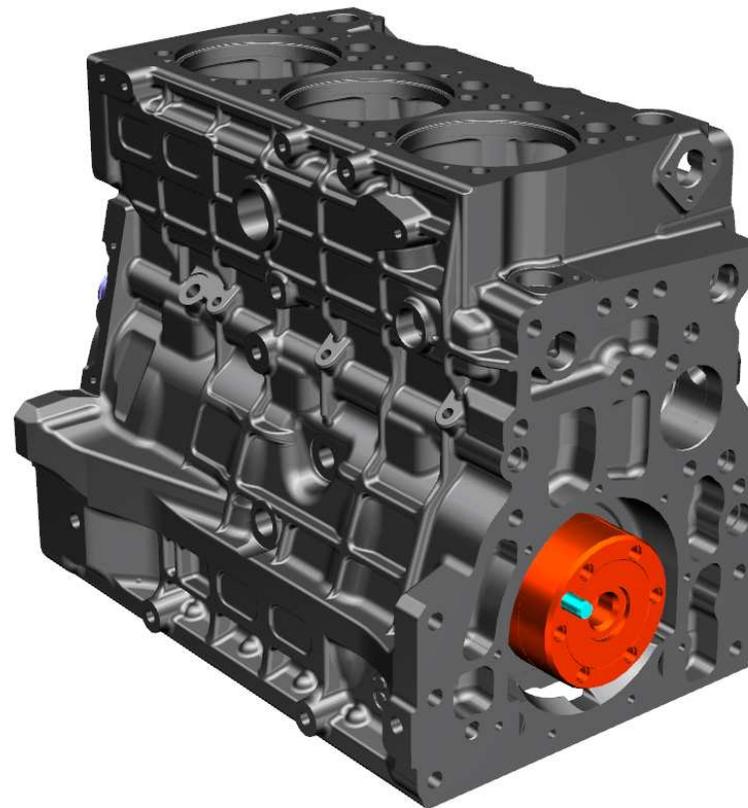


1. Bronzine perni di banco
2. Supporti di banco con viti previste a BOM e serrate secondo norma
3. Rasamenti albero motore
4. Albero motore
5. Coppa olio con viti previste a BOM serrate secondo norma



Impostazione della prova

3. Reali condizioni di pre-sollecitazione statica

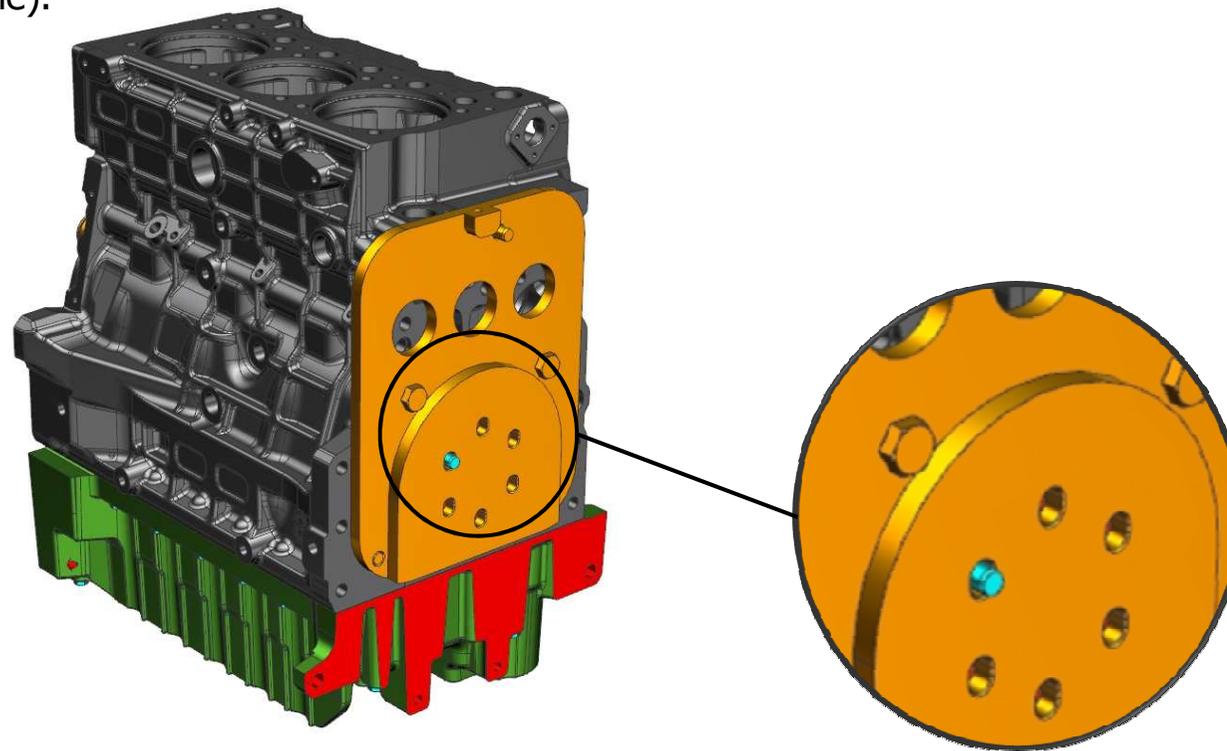


1. Interferenza bronzine perni di banco
2. Interferenza bronzine perni asse a cammes
3. Interferenza perno ozioso

Impostazione della prova

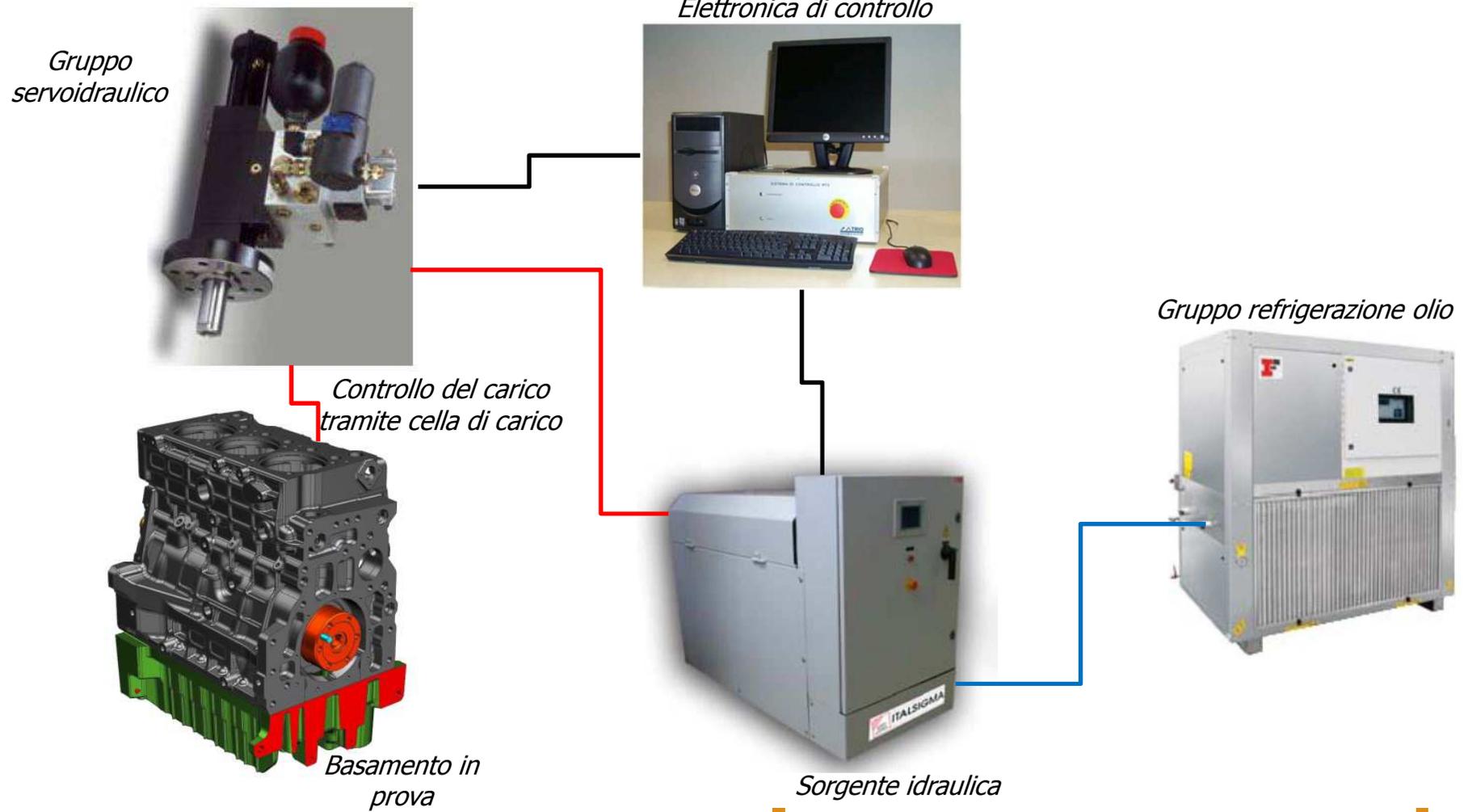
- Allestimento del monoblocco per la prova

L'albero a gomiti viene posizionato al P.M.S del cilindro scelto per il test e viene tenuto in posizione dalla flangia (no rotazione).



Impostazione della prova

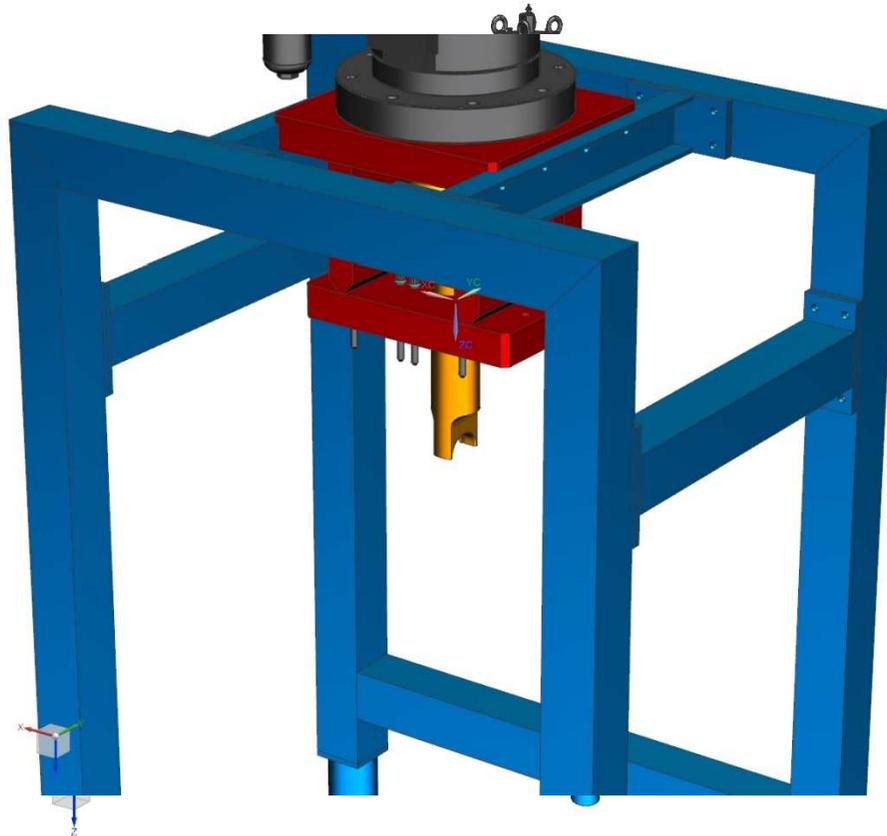
- Layout funzionale banco prova



Impostazione della prova

➤ Banco prova

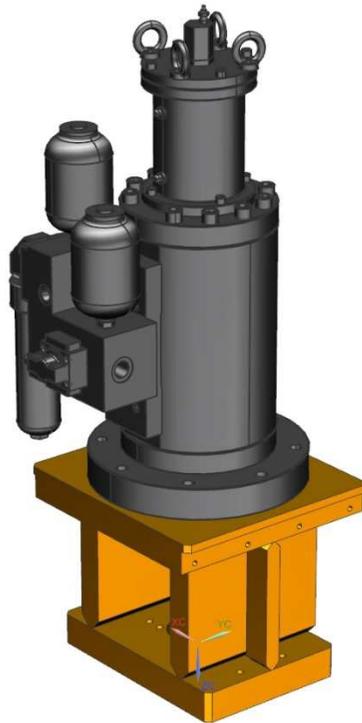
Il carico pulsante sull'albero motore viene generato dal gruppo servo-idraulico per mezzo di una finta biella collegata allo stesso.



Impostazione della prova

➤ Banco prova

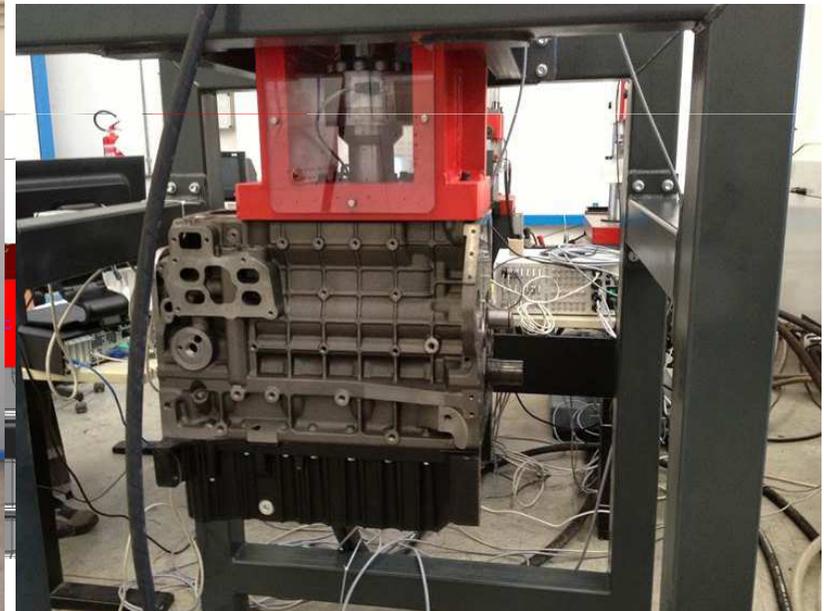
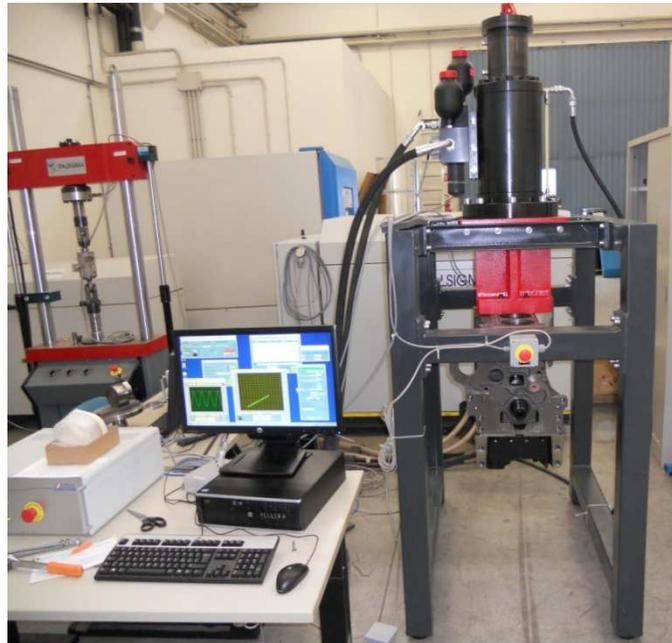
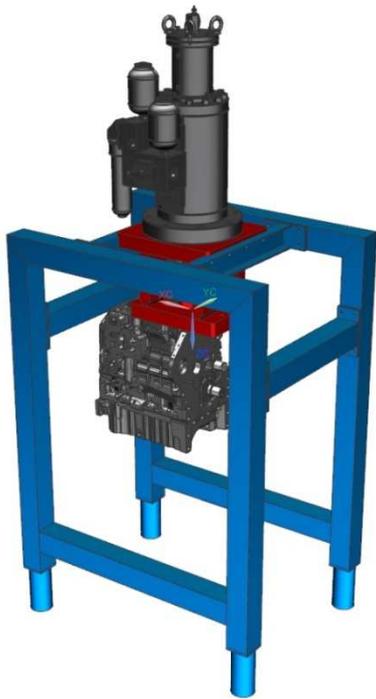
Il gruppo servo-idraulico è fissato ad una finta testa, vincolata al telaio portante del banco prova.



Impostazione della prova

➤ Banco prova

Il monoblocco viene fissato, per mezzo delle viti testa originali, alla finta testa motore, rimanendo così appeso ed evitando eventuali forzanti per errati vincoli: le sollecitazioni risultano in **loop chiuso** sul basamento stesso, come avviene durante il funzionamento del motore.



Impostazione della prova

➤ Specifiche di prova

- Carico dinamico massimo: ± 300 kN
- Range di frequenza: $20 \div 30$ Hz
- Rapporto di carico dinamico R: **0,05**
- Target di durata: **$5 \cdot 10^6$ di cicli**

➤ Caratteristiche del banco prova

- Gruppo servoidraulico da ± 300 kN (10 Hz con corsa di 1 mm)
- Cella di carico da 300 kN in classe 0,5 ISO 7500-2
- Sorgente idraulica silenziata da 210 bar @ 50 l/min (280 bar @ 40 l/min)
- Gruppo frigorifero ad acqua silenziato da 20 kW termici
- Elettronica di gestione monocanale espandibile fino a 4 canali



Metodologia di validazione



Metodologia di validazione

- Vincoli dell'approccio 'Stair Case' UNI 3964

Tempistiche di prova

- 3 giorni/monoblocco ($5 \cdot 10^6$ cicli) → circa 2 monoblocchi/settimana testati
- 3 forniture da validare (prototipale, 2 lotti di pre-serie)
- 45 'provini' in totale



~~***Almeno 6 mesi di testing
(Assumendo componenti 'just in time')...***~~

Costi di prova

- 45 'provini' in totale (di cui 15 prototipali)
- Costi di allestimento monoblocco (albero motore, bronzine, ecc...)
- Costi di trasporto (trasporto oversea via area per pre-serie)

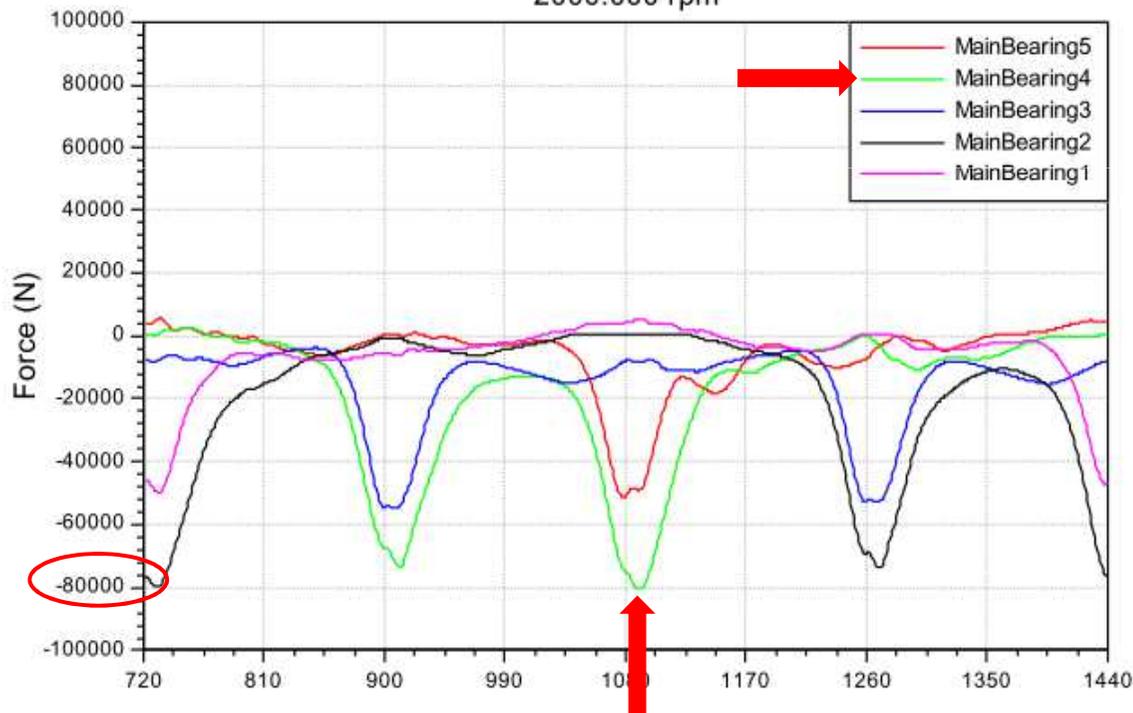
Metodologia di validazione

➤ Metodologia integrata per riduzione delle tempistiche

1. Valutazione del carico di riferimento da calcoli (FEM/dinamica)

Vertical bearing force (Z-Direction)

2000.000 rpm



A. Carico massimo: 80 kN @ 2000rpm
MBW n°4 (combustione 4° cil.)

B. Carico di riferimento da applicare
tramite la finta biella: **160kN**
(80 kN per MBW n°4 e n°5)

C. Primo step di prova: **130 kN**
($\eta_{50\%} \sim 0.8$)

Metodologia di validazione

- Metodologia integrata per riduzione delle tempistiche

2. Definizione degli step di carico (Δ ampio, pochi step)

$\Delta = +28\text{kN}$ {

Step	Carico [kN]	%
L0	130	-
L1	158	17,7215
L2	186	15,0538
L3	214	13,0841
L4	242	11,5702
L5	270	10,3704
L6	298	9,39597

Metodologia di validazione

➤ Metodologia integrata per riduzione delle tempistiche

3. Baseline (*) su n°3 monoblocchi proto con Metodo Carico Crescente 'Rapido' e prima stima del limite di sopravvivenza al 50% per mezzo della metodologia 'Stair Case' (no stima Dev. Standard)

s_a	1° basamento				2° basamento			3° basamento	
[kN]	1	2	3	4	5	6	7	8	9
298									
270									
242							510000		460000
214				450000		5000000		5000000	
186			5000000		5000000				
158		5000000							
130	5000000								

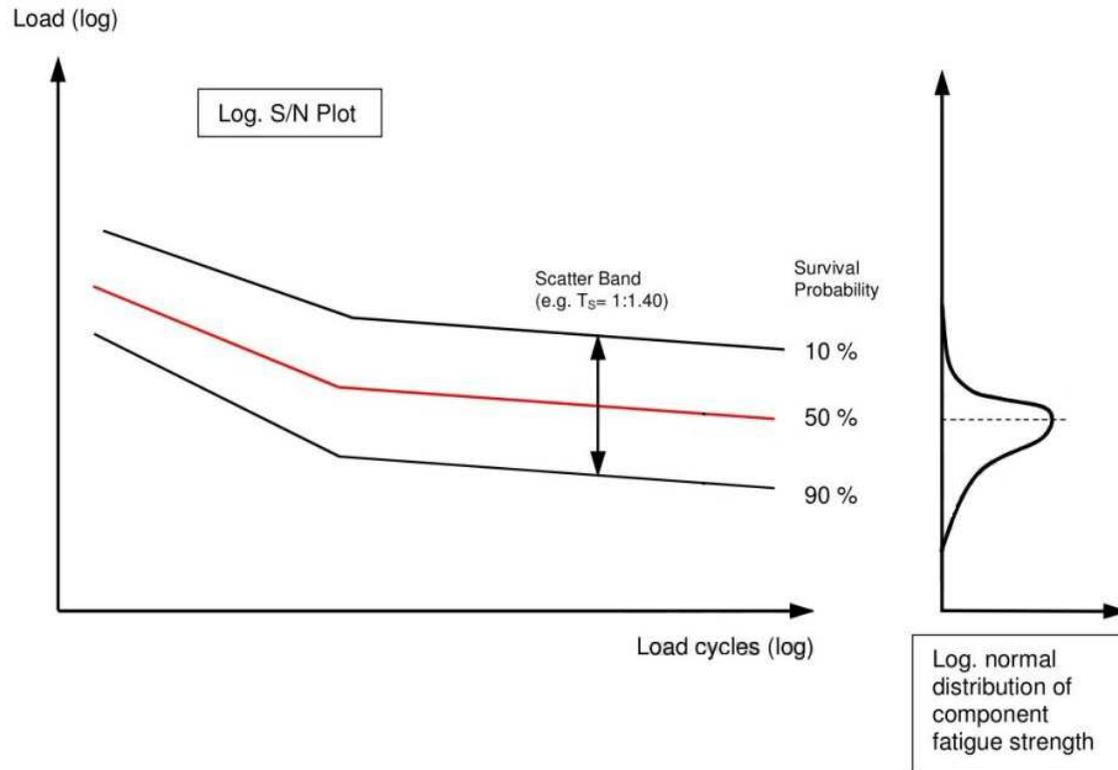
Step con esito positivo a priori per riduzione tempistiche

(*): monoblocchi dallo stesso lotto sono stati utilizzati per assemblare motori prototipali su cui sono stati eseguiti i test di durata.

Metodologia di validazione

➤ Metodologia integrata per riduzione delle tempistiche

4. Valutazione della Dev. Standard equivalente e della probabilità di sopravvivenza (assumendo i dati a fatica distribuiti secondo una *log-normale* e una *scatter band* di 1.4)



- Posto come target di progetto la probabilità di sopravvivenza del 99.99%, il coeff. di sicurezza è di 1.63.



$$L_{99.99\%} = 160 \text{ kN} \rightarrow L_{50\%} = 260 \text{ kN}$$

- I calcoli FEM sono stati effettuati considerando una resistenza meccanica del materiale nelle zone del MBW pari a 250MPa.

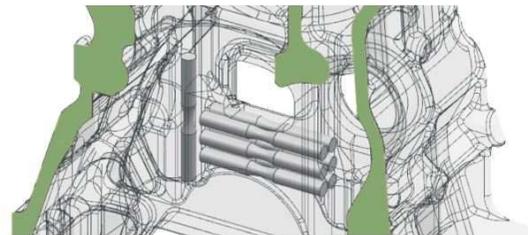
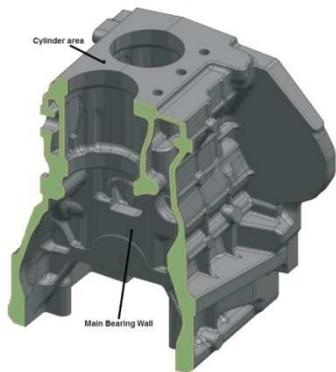


$$UTS_{50\%} = 250 \text{ MPa} \rightarrow L_{50\%} = 260 \text{ kN}$$

Metodologia di validazione

➤ Metodologia integrata per riduzione delle tempistiche

5. Analisi di conformità materiale (in riferimento capitolato interno SDF) su provini ricavati dalle Pareti dei Supporti di Banco



- Analisi chimica
- Micrografie
- Durezza
- Prova a trazione



6. Ripetizione punti da 2 a 5 con basamenti da pre-serie



Analisi dei risultati

Analisi dei risultati

- Limite a fatica (probabilità di sopravvivenza 50%) secondo 'Stair Case':

Proto

[kN]	1	2	3	4	5	6	7	8
298								
270								
242								
214						540000		380000
186			450000		5000000		5000000	
158		5000000		5000000				
130	5000000							

➔ $L_{50\%} = 191 \text{ kN}$

Pre-serie 1

[kN]	1	2	3	4	5	6	7	8	9
298									
270									
242							510000		460000
214				450000		5000000		5000000	
186			5000000		5000000				
158		5000000							
130	5000000								

➔ $L_{50\%} = 219 \text{ kN}$

Pre-serie 2

[kN]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
298										
270						2550000		650000		980000
242					5000000		5000000		5000000	
214				5000000						
186			5000000							
158		5000000								
130	5000000									

➔ $L_{50\%} = 256 \text{ kN}$

Analisi dei risultati

- Calcolo probabilità di successo rispetto al carico di riferimento (assunzione *log-normale*):

Proto

[kN]	1	2	3	4	5	6	7	8
298								
270								
242								
214						540000		380000
186			450000		5000000		5000000	
158		5000000		5000000				
130	5000000							

$$\frac{L_{50\%}}{L_{y\%}} = \frac{191}{160} = 1.19375 \rightarrow y\% \cong 90\%$$

Pre-serie 1

[kN]	1	2	3	4	5	6	7	8	9
298									
270									
242							510000		460000
214				450000		5000000		5000000	
186			5000000		5000000				
158		5000000							
130	5000000								

$$\frac{L_{50\%}}{L_{y\%}} = \frac{219}{160} = 1.36875 \rightarrow y\% \cong 99\%$$

Pre-serie 2

[kN]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
298										
270						2550000		650000		980000
242					5000000		5000000		5000000	
214				5000000						
186			5000000							
158		5000000								
130	5000000									

$$\frac{L_{50\%}}{L_{y\%}} = \frac{256}{160} = 1.6 \rightarrow y\% \cong 99.98\%$$

Analisi dei risultati

- Analisi conformità di materiale e controllo incrociato dei dati a fatica sulla base delle caratteristiche meccaniche

		CAPITOLATO SDF 11040	PROTOTIPALE	PRE-SERIE 1	PRE-SERIE 2
ANALISI CHIMICA	%				
	C	3 - 3,70	3,4	3,47	3,27
	Si	1,5 - 2,2	2,16	2,25	2,2
	Mn	0,5 - 0,9	0,5	0,06	0,9
	S	< 0,12	0,074	0,166	0,067
	P	< 0,05	0,041	0,037	0,041
	Cr	< 0,3	0,06	0,3	0,29
	Cu	< 0,9	1,15	0,46	0,49
	Sn	0,08 - 0,12	0,059	0,005	0,04
	Ni	< 0,4	0,08	0,04	-
	Mo	< 0,4	0,01	0,01	-
DUREZZA	HB	190 - 230	190	202	215
RESISTENZA A TRAZIONE (provini ricavati dal MBW)	MPa	250 - 280	186	225	250
MICROSTRUTTURA		Tipo 1A, 3/4 Tipo B+D < 5%	Tipo 1A, 4/3 su perlite lamellare fine con tracce di ferrite. Presenza di grafite grossolana	Tipo 1A, 4/3 su perlite lamellare molto fine	Tipo 1A, 4/3 su perlite lamellare con assenza di ferrite. Presenza di grafite grossolana

UTS_{50%} ~ 186MPa → L_{50%} ~ 193kN

UTS_{50%} ~ 225MPa → L_{50%} ~ 234kN

UTS_{50%} ~ 250MPa → L_{50%} ~ 260kN



Considerazioni finali



Considerazioni finali

➤ Metodologia integrata

1. Ridurre le tempistiche di pura prova da circa 6 mesi (stimati) a circa 2 mesi (reali).
2. Ridurre i soli costi di 'provini + trasporto' di circa il 60%.
3. Ottenere rapidamente sia il valore di sopravvivenza al 50% (metodo Stair Case) e sia la probabilità di successo al carico di riferimento (Dev. Standard da log-normale).
4. Effettuare un controllo incrociato dei risultati a fatica sulla base delle caratteristiche meccaniche rilevate su provini ottenuti da basamenti appartenenti al medesimo lotto di fornitura.
5. Monitorare le modifiche di processo di pre-serie, fornire una prima validazione dello stesso ed il nulla osta per la produzione di serie.

Considerazioni finali

➤ Validazione dei basamenti

1. La baseline effettuata su basamenti prototipali ha permesso di tracciare il livello minimo di accettabilità per le campionature di pre-serie (i componenti prototipali stati utilizzati durante lo sviluppo e la validazione del motore a banco prova dinamico e non sono incorsi in nessuna rottura).
2. I basamenti di *pre-serie 1* e *pre-serie 2* hanno mostrato caratteristiche migliori rispetto ai monoblocchi proto, incrementando la probabilità di successo dal 90% (baseline) al 99% e 99.99%.
3. Entrambe le campionature di pre-serie sono state validate con **esito positivo**. Inoltre, è stato possibile portare azioni correttive immediate sulla base dei risultati della *pre-serie 1* per rientrare nei target di progetto con la *pre-serie 2*.

Considerazioni finali

➤ Prossime azioni

1. Monitorare la consistenza delle caratteristiche meccaniche anche dopo la SoP sulla base della metodologia usata.
2. Affinare i risultati ottenuti effettuando uno Stair Case reale su 15 monoblocchi provenienti dalla produzione di serie.



Grazie per l'attenzione