



DIEM



Gruppo di lavoro AIAS
Tecniche di giunzione
27 – 28 Marzo 2008, Vicenza



Dipartimento di Tecnica e
Gestione dei sistemi industriali
Università di Padova

Stato della Ricerca del DIEM sui Sistemi di Giunzione

D. Croccolo, R. Cuppini, N. Vincenzi, V. Dal Re

DIEM - Università di Bologna - Viale Risorgimento, 2 - 40136, Bologna - ITALIA

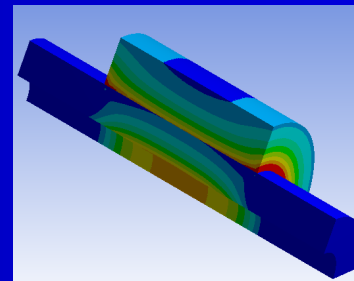
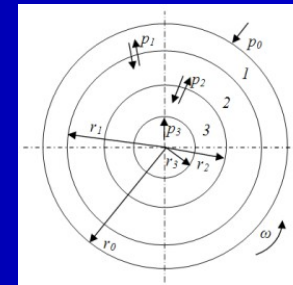
dario.croccolo@mail.ing.unibo.it

Sistemi di giunzione oggetto di studio:

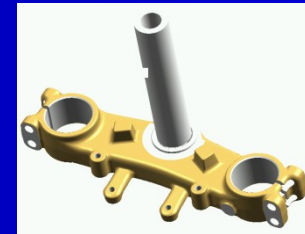
1. Accoppiamenti assial-simmetrici misti per interferenza ed incollaggio



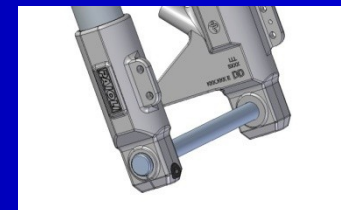
1. Accoppiamenti assial-simmetrici realizzati per interferenza



1. Accoppiamenti non assial-simmetrici realizzati per interferenza



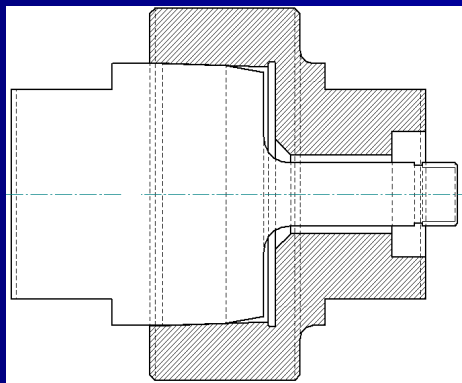
1. Accoppiamenti con mozzo a fessura realizzati per serraggio





DIEM

ACCOPPIAMENTI ASSIAL-SIMMETRICI MISTI PER INTERFERENZA ED INCOLLAGGIO



Accoppiamento conico in acciaio:
 $D_{Fm} = 99,13$ [mm]; $L_F = 25$ [mm];
 $D_E = 143$ [mm]; $\alpha = 2^\circ$.

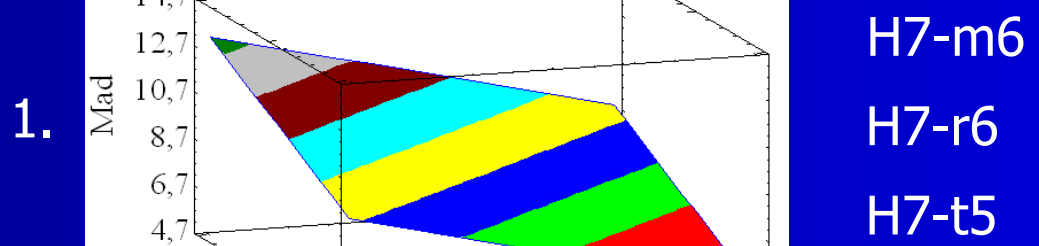
È stato valutato l'effetto combinato dell'adesivo anaerobico LOCTITE 638 ed dell'interferenza sul Momento torcente trasmissibile attraverso il metodo DOE (2 fattori):

$$M_{ad} = M_{tot} - M_{int} = M_{ad} = M_{vo} \cdot D$$

1. % di dif. $M_{ad} = M_{tot} - M_{int} = M_{ad} = M_{vo} \cdot D$

0	0%
0,5	25%
1	50%
1,5	75%
2	100%

$M_{ad} = 13.11 - 2.14 \cdot D - 2.02 \cdot I$ $D, I \in [0, 2]$



$$M_{tot} = 13.19 - 0.043 \cdot D_{\%} - 0.024 \cdot p$$

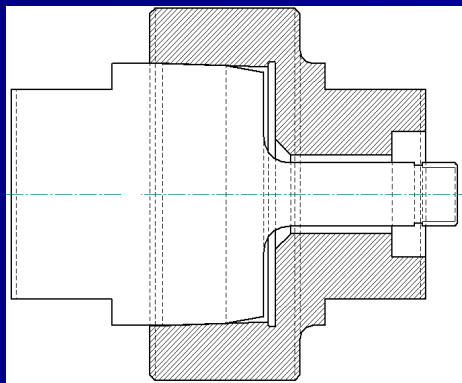
$D_{\%} \in [0; 100]$ $p \in [1.1 \text{ MPa}; 41.5 \text{ MPa}]$



ACCOPPIAMENTI ASSIAL-SIMMETRICI MISTI PER INTERFERENZA ED INCOLLAGGIO



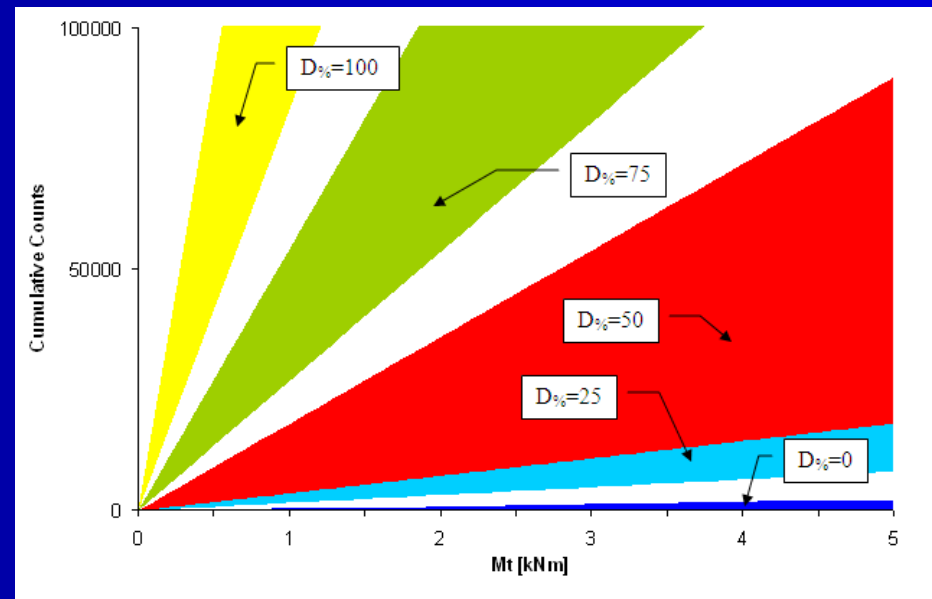
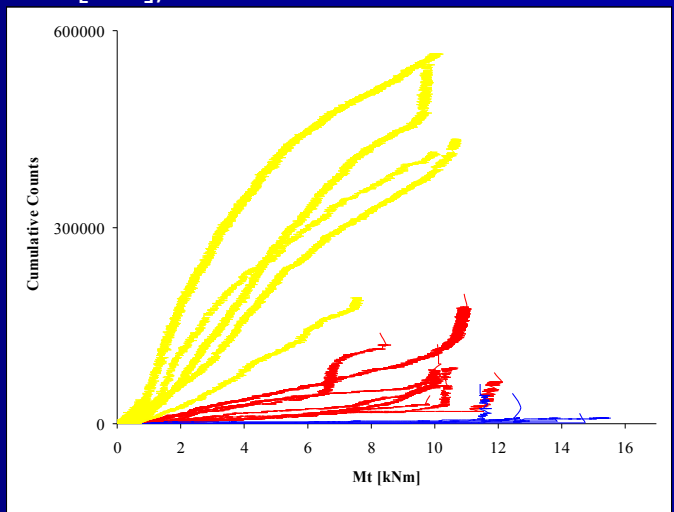
DIEM



È stata applicata la tecnica delle Emissioni Acustiche per stimare la % di difetto dell'adesivo e prevedere il momento totale di sbloccaggio dell'accoppiamento:



Accoppiamento conico in acciaio
 $D_{Fm} = 99,13$ [mm]; $L_F = 25$ [mm];
 $D_E = 143$ [mm]; $\alpha = 2^\circ$.



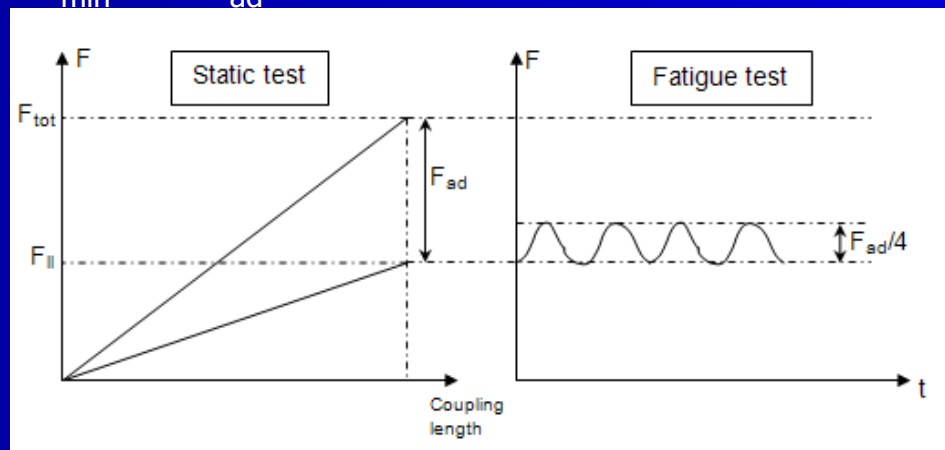
ACCOPPIAMENTI ASSIAL-SIMMETRICI MISTI PER INTERFERENZA ED INCOLLAGGIO



Accoppiamento cilindrico in acciaio:
 $D_F = 30$ [mm]; $L_F = 35$ [mm];
 $Q_t = 0,53$; $Q_A = 0,56$; $\mu_{II} = 0,19$;
 $p_F = 30 - 80$ [MPa].

Si sta studiando la resistenza residua dell'adesivo in accoppiamenti cilindrici realizzati in acciaio e alluminio sottoposti a cicli di fatica pulsante:

- $F_{\min} = F_{II}$ (contributo della sola interferenza)
- $F_{\max} = F_{\min} + \%F_{ad}$



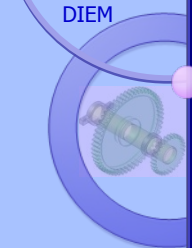
I° Campagna (8 prove):

$$F_{\min} = F_{II}; F_{\max} = F_{II} + 0,25F_{ad}; N = 10^6$$

Allo spiantaggio dei provini non è stata registrata alcuna riduzione di resistenza rispetto al caso statico



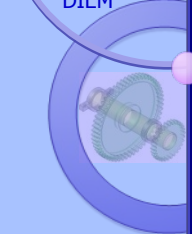
DIEM



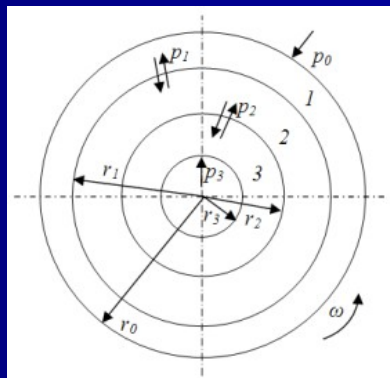
ACCOPPIAMENTI ASSIAL-SIMMETRICI MISTI PER INTERFERENZA ED INCOLLAGGIO

PUBBLICAZIONI

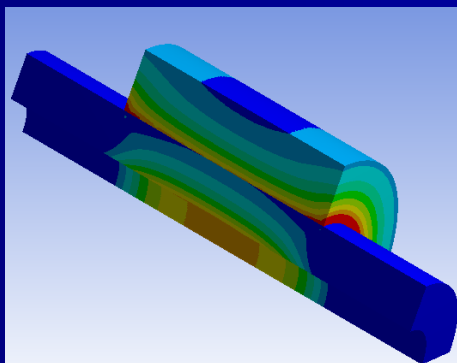
1. Croccolo D., Cuppini R. - Adhesive defect density estimation applying the acoustic emission technique - in press su International Journal of Adhesion and Adhesives (2008)
2. Croccolo D., Cuppini R. - How the releasing moment of conical steel couplings is influenced by the combined effect of adhesive and interference - in press su Strain - An International Journal for Experimental Mechanics (2008);
3. Croccolo D., Cuppini R. - How the Releasing Moment of Conical Steel Couplings is Influenced by the Combined Effect of Adhesive and Interference - 5th International Conference on Mechanics and Materials in Design - M2D 2006 - July, 24 - 26, 2006 - Porto, Portugal - pagg. 317-318. Versione completa su CD;
4. Croccolo D., Cuppini R. - A methodology to estimate the adhesive bonding defects and the final releasing moments in conical joints based on the acoustic emissions technique - Int. J. of Adhesion and Adhesives, Vol. 26, Issue 7, pp. 490-497 (October 2006);
5. Croccolo D., Cuppini R. - A methodology to estimate the adhesive bonding defects and the final releasing moments in conical joints based on the acoustic emissions technique - Adhesion '05 Ninth International Conference on the Science and Technology of Adhesion and Adhesives - September, 6 th - 9th 2005 - St. Catherine's College, University of Oxford, UK - pp. 97-100;
6. Croccolo D., Cuppini R., Dal Re V. - Correlation between acoustic emissions and gluing defects in conical joints - 21st DANUBIA-ADRIA Symposium - 29 Settembre - 2 Ottobre, 2004 Brijuni - Croazia - paper n. B04 - pp. 20-21;
7. Croccolo, D., Cuppini R., Dal Re V.- Controllo non distruttivo con la tecnica delle emissioni acustiche di accoppiamenti conici - Atti XIV ADM - XXXIII AIAS Bari 31 agosto - 2 settembre 2004. Versione su CD;
8. Croccolo D., Cuppini R., Dal Re V. - Correlation between acoustic emission and gluing defects in conical joints - 3rd Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics - May 12th-15th, 2004 Porretta Terme (BO), Italia - pp. 81-82;
9. Croccolo D., Cuppini R., Dal Re V.- Calcolo numerico e sperimentale dei coefficienti di attrito e dei momenti di sbloccaggio in accoppiamenti conici misti per interferenza ed incollaggio - Atti al XXXII Convegno AIAS 2003 Salerno 3-6 settembre 2003 pp. 129 130 Versione completa su CD;
10. Croccolo D., Cuppini R., Dal Re V. - Friction coefficients and releasing moments calculation in adhesive and compression conic couplings - 2nd Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics - May 7-10, 2003 Milano Marittima (Ravenna), Italia - pp. 115-116;
11. Croccolo D., Cuppini R., Dal Re V. - Nondestructive test of conic couplings with the acoustic emissions technique - 19th Danubia-Adria-Symposium September 25-28, 2002 Polanica Zdroj, Polonia - pp. 82-83



ACCOPPIAMENTI ASSIAL-SIMMETRICI PER INTERFERENZA



È stata sviluppata una teoria generalizzata per accoppiamenti albero-mozzo in grado di descrivere lo stato tensionale e deformativo in n elementi accoppiati, rotanti e di diverso materiale, caratterizzati dalla presenza di carichi assial-simmetrici e geometrie assial-simmetriche.



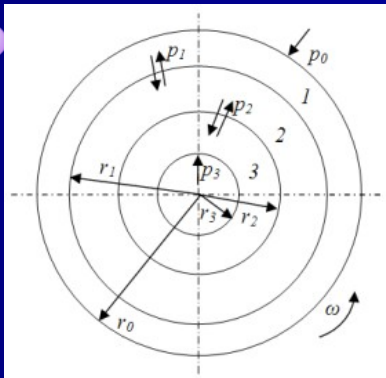
È stato studiato l'effetto di bordo su albero e mozzo negli accoppiamenti ad interferenza assial-simmetrici quando l'albero presenta una lunghezza assiale maggiore di quella del mozzo, attraverso la definizione di un fattore teorico di concentrazione delle tensioni.

$$K = \frac{\sigma_{VM_max}}{\sigma_{VM_th}}$$

ACCOPPIAMENTI ASSIAL-SIMMETRICI PER INTERFERENZA



DIEM



$$p_{i_tot} = \frac{\frac{Z_{tot,i} + p_{i-1,i}}{r_i} + \frac{p_{i+1,i}}{E_i} \left(I + \frac{I+Q_i^2}{1-Q_i^2} \right) + \frac{p_{i+1,i}}{E_{i+1}} \frac{2 \cdot Q_{i+1}^2}{1-Q_{i+1}^2} + \frac{\rho_{i+1} \omega^2 r_i^2 \frac{3+v_{i+1}}{8}}{E_{i+1}} \left(I + 2 \cdot \frac{Q_{i+1}^2}{3+v_{i+1}} - \frac{I+3 \cdot v_{i+1}}{3+v_{i+1}} \right) - \frac{\rho_i \omega^2 r_{i-1}^2 \frac{3+v_i}{8}}{E_i} \left(2+Q_i^2 - \frac{I+3 \cdot v_i}{3+v_i} \cdot Q_i^2 \right)}{\frac{I+Q_i^2}{1-Q_i^2} + v_i + \frac{I-v_{i+1} + \frac{2 \cdot Q_{i+1}^2}{1-Q_{i+1}^2}}{E_{i+1}}}$$

$$p_{i_tot} \cdot H_i = J_i + p_{i+1_tot} \cdot I_{i+1} \quad p_{i-1_tot} = \frac{p_{i_tot} \cdot I_i + J_{i-1}}{H_{i-1}}$$

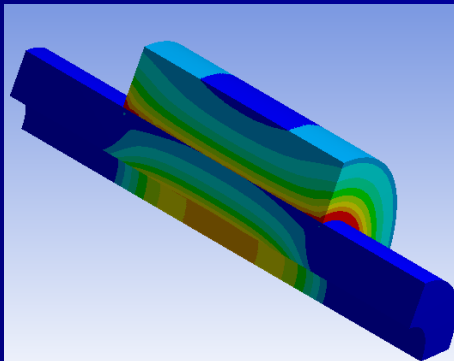
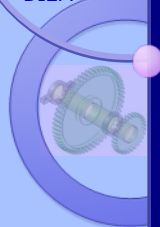
$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_{r_{i_tot}} = \sigma_{r_{i_d}} + \sigma_{r_{i_s}} &= \rho_i \omega^2 r_{i-1}^2 \frac{3+v_i}{8} \cdot \left(I + Q_i^2 - \frac{Q_i^2}{Q_{g,i}^2} - Q_{g,i}^2 \right) - p_{i-1_tot} + (p_{i_tot} - p_{i-1_tot}) \cdot \frac{Q_i^2}{1-Q_i^2} \cdot \left(I - \frac{I}{Q_{g,i}^2} \right) \\ \sigma_{\theta_{i_tot}} = \sigma_{\theta_{i_d}} + \sigma_{\theta_{i_s}} &= \rho_i \omega^2 r_{i-1}^2 \frac{3+v_i}{8} \cdot \left(I + Q_i^2 + \frac{Q_i^2}{Q_{g,i}^2} - \frac{I+3 \cdot v_{ii}}{3+v_i} \cdot Q_{g,i}^2 \right) - p_{i-1_tot} + (p_{i_tot} - p_{i-1_tot}) \cdot \frac{Q_i^2}{1-Q_i^2} \cdot \left(I + \frac{I}{Q_{g,i}^2} \right) \end{aligned} \right.$$

n	omega		rho_i	D_i_int	D_i_ext	r_i	Z_i	P_i_tot	sigma_r_i_int	sigma_r_i_ext	sigma_t_i_int	sigma_t_i_ext	sigma_VM_i_int	sigma_VM_i_ext
	[rad/sec]	[rpm]												
0	420	4,011				35.000	0.0000	150.00						
1	206,000	0.29	7850	49.950	70.000	24.988	0.0250	161.39	-161.39	-150.00	-113.38	-125.31	143.54	139.31
2	70,000	0.33	2770	29.980	50.000	14.995	0.0100	175.01	-175.01	-161.39	-132.17	-145.92	158.01	154.24
3	206,000	0.29	7850	20.000	30.000	10.000	0.0000	30.00	-30.00	-175.01	-552.03	-407.13	537.65	353.74

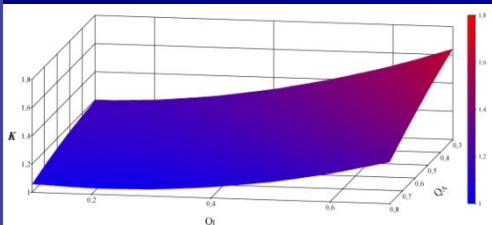
ACCOPPIAMENTI ASSIAL-SIMMETRICI PER INTERFERENZA



DIEM

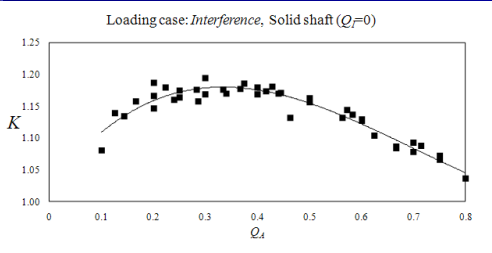


Il fattore di concentrazione delle tensioni è stato definito attraverso analisi agli elementi finiti (circa 400 simulazioni svolte mediante Ansys®R11) in funzione del tipo di carico applicato e delle dimensioni dei componenti.

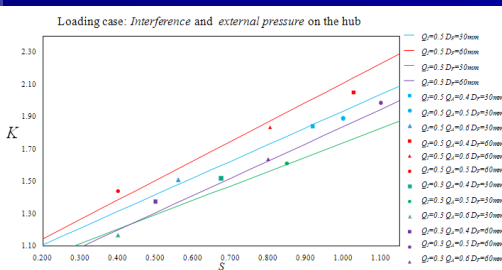


$$K = -0.309 \cdot Q_A^2 - 0.696 \cdot Q_A \cdot Q_I + 1.123 \cdot Q_I^2 + 0.133 \cdot Q_A + 0.053 \cdot Q_I + 1.189$$

$$Q_A = \frac{D_{Ai}}{D_{Aa}} \quad Q_I = \frac{D_{Ii}}{D_{Ia}}$$



$$K = 0.982 \cdot Q_A^3 - 2.063 \cdot Q_A^2 + 1.048 \cdot Q_A + 1.023$$



$$K = (0.0058 \cdot D_F + 0.70 \cdot Q_I + 0.51) \cdot S - 0.0018 \cdot D_F + 0.65 \cdot Q_I + 0.63$$

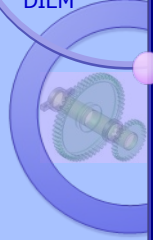
$$S = \frac{P_F}{\sigma_{VM_Ai}}$$



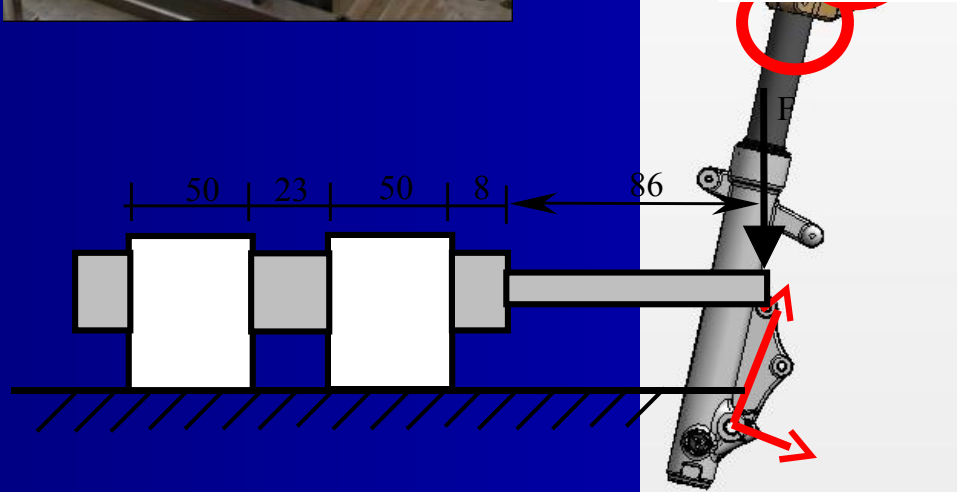
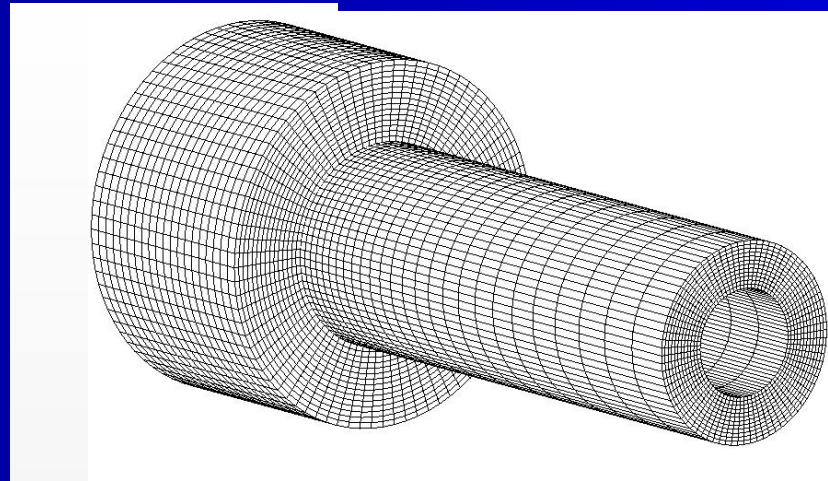
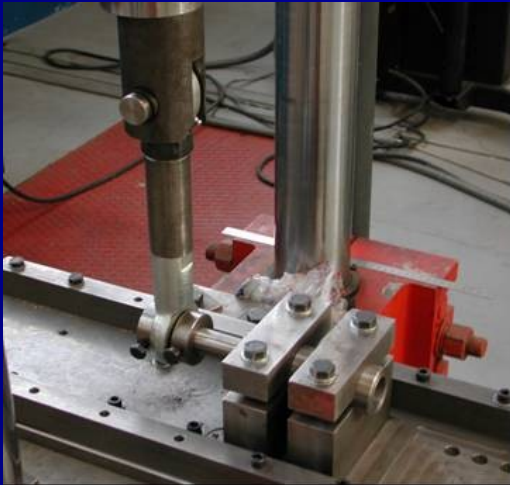
ACCOPPIAMENTI NON ASSIAL-SIMMETRICI PER INTERFERENZA



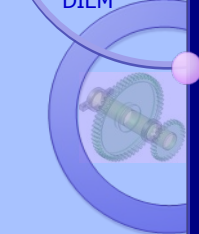
DIEM



FATICA



K_f



ACCOPPIAMENTI NON ASSIAL-SIMMETRICI PER INTERFERENZA

È stata definita la forza assiale di spiantaggio, ovvero il parametro fondamentale di progetto o di verifica per questa tipologia di accoppiamenti:



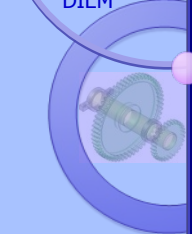
Accoppiamento PERNO
DI STERZO - TRAPEZIO

$$F_{II} = \mu_{II} \cdot p \cdot A$$

- determinazione teorico-numerica della pressione media di accoppiamento p in assenza di assial-simmetria;
- determinazione sperimentale tramite metodologia DOE dei coefficienti di attrito μ statico e dinamico.



DIEM

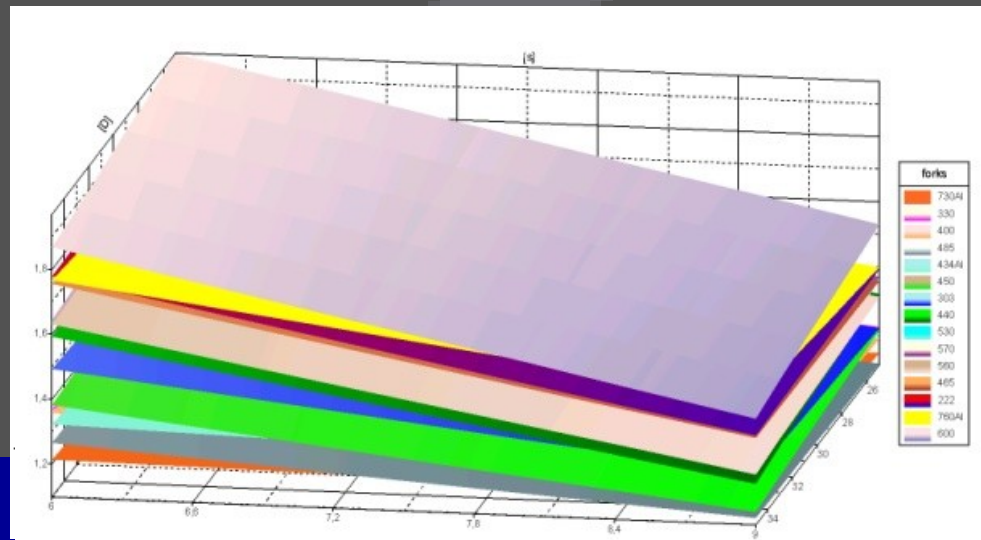


ACCOPPIAMENTI NON ASSIAL-SIMMETRICI PER INTERFERENZA

$$F_{ll} = \mu_{ll} p \cdot A$$

$$p = \frac{\xi}{\frac{1}{E_A} \beta_r \left(\frac{1+Q_A^2}{1-Q_A^2} + \nu_A \right) + \frac{1}{E_I} \left(\frac{1+Q_I^2}{1-Q_I^2} - \nu_I \right)}$$

$$\beta_r = \frac{p_{FEM}}{p_{teorica}} \quad \beta_t = \frac{\sigma_{tFEM}}{\sigma_{tteorica}}$$

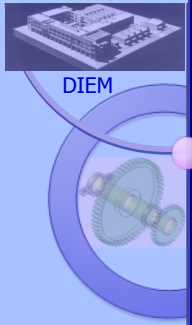


$$\beta_r = 2,0008 + 0,0022 \cdot Di_t - 0,0714 \cdot s + 0,0372 \cdot k - 0,4597 \cdot j$$

$$\beta_t = 0,831 + 0,003 \cdot Di_t + 0,007 \cdot s$$



ACCOPPIAMENTI NON ASSIAL-SIMMETRICI PER INTERFERENZA



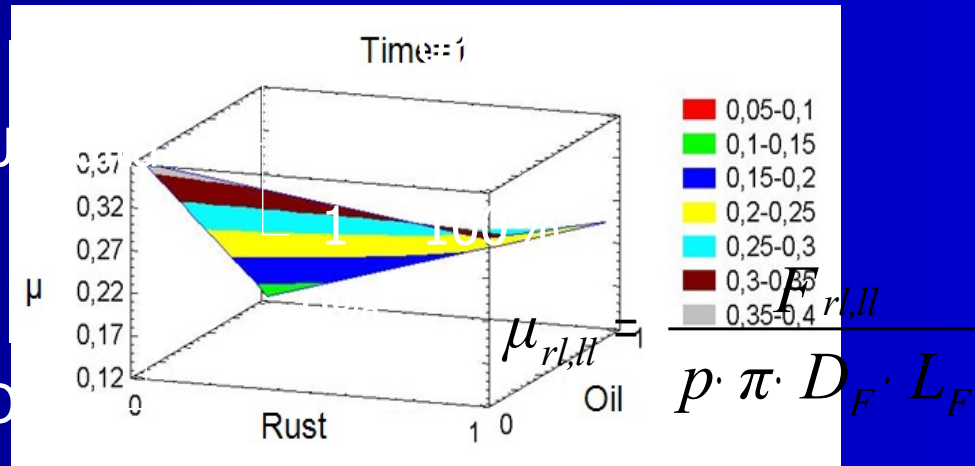
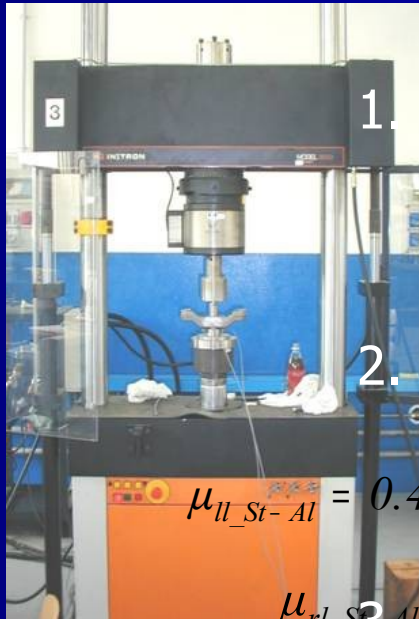
$$F_{ll} = \mu_{ll} \cdot p \cdot A$$

Acciaio-Acciaio

Acciaio-Alluminio

Alluminio-Alluminio

DOE a 3 fattori su 2 livelli (2^3)



$$\mu_{ll_St-Al} = 0.46817 - 0.38066 \cdot oil + 0.14 \cdot time \cdot oil + 0.1743 \cdot rust \cdot oil$$

$$\mu_{rl_St-Al} = 0.351167 - 0.3015 \cdot oil + 0.11033 \cdot rust \cdot oil$$

3. Tempo di accoppiamento

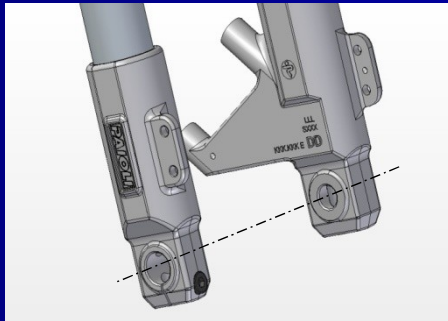
0 0 ore

1 72 ore

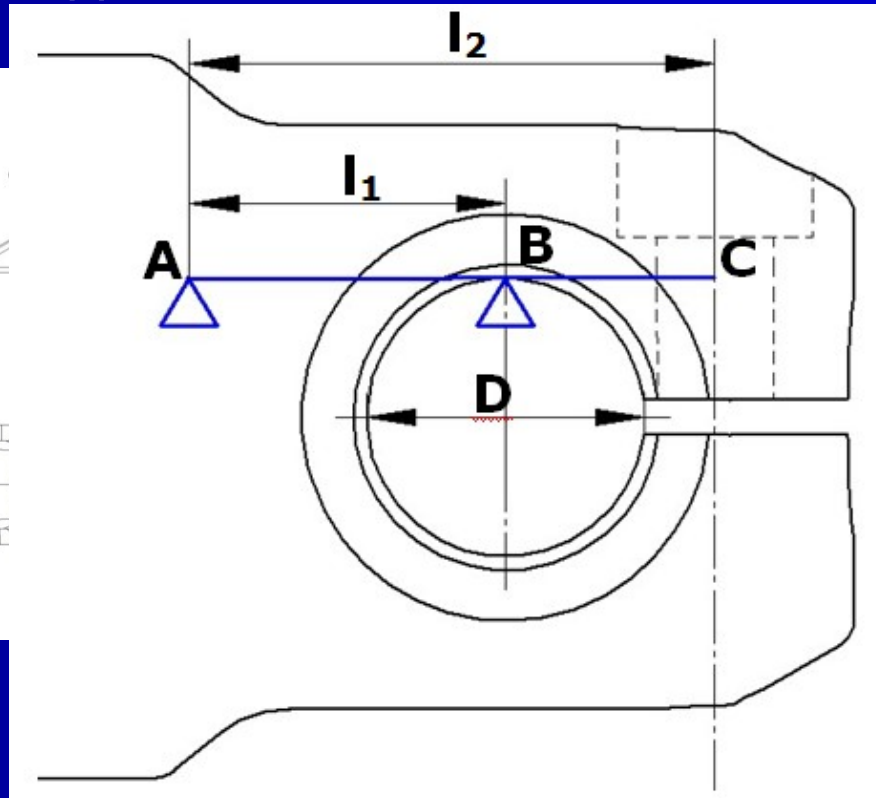
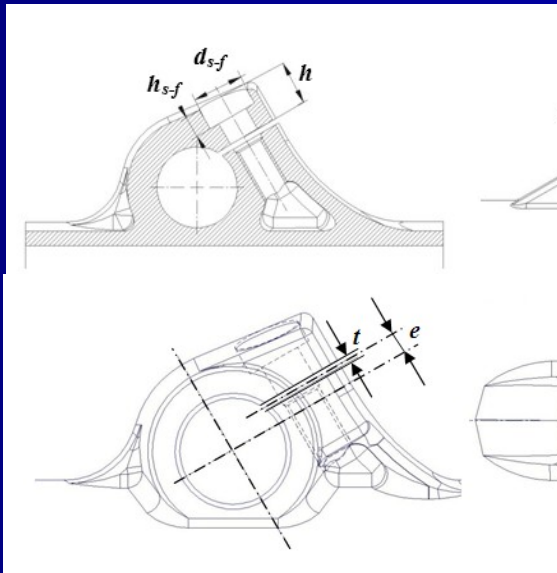
ACCOPPIAMENTI CON MOZZO A FESSURA REALIZZATI PER SERRAGGIO



DIEM



È stata determinata la sollecitazione massima flessionale presente sul mozzo, generata dal serraggio delle viti e la pressione media di accoppiamento.



ANSYS

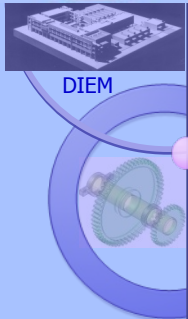
$$j_2 = 1.024 \cdot j_3$$

$$j_3 = \frac{v}{d_{s-f}}$$





STRUMENTI DI CALCOLO REALIZZATI




Fork design - New design - D:\Articoli\Accoppiamento Paioli\Visual 6\Programma 2006\Design1.dat

Fork design - Design - D:\Articoli\Accoppiamento Paioli\Visual 6\Programma 2005\Design1.dat

Leg Design

File Fork-Pin Clamp-Pin ?

File Fork Clamp



DIEM - BOLOGNA

OCNM08

OCNM08

10000

3

050

350

Delete material

Apply

d point

e [MPa] 300

rce [kN] 190.51

ce [µm] 156

pin [µm] 61

fork [µm] 94

Standard hole

Tolerance type $\times 5$

Minimum chosen interference [µm] 55

Tolerance type H 5

Maximum chosen interference [µm] 73

Modified theoretical formulas

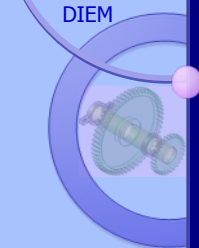
Unmodified theoretical formulas

OK Cancel Apply

OK Cancel



DIEM



ACCOPPIAMENTI NON ASSIAL-SIMMETRICI PER INTERFERENZA

PUBBLICAZIONI

1. Croccolo D., Cuppini R., Vincenzi N. - The design and optimization of fork-pin compression coupling in front motorbike suspensions – Finite Elements in Analysis and Design, Volume 43, Issue 13, September 2007 - pp.977-988;
2. Croccolo D., Cuppini R., Vincenzi N. – Ottimizzazione strutturale in accoppiamenti con serraggio per applicazioni motociclistiche – Atti XXXVI Convegno Nazionale AIAS - Ischia 4-8 settembre 2007 – pp.260-262 - Versione completa su CD;
3. Croccolo D., Cuppini R., Vincenzi N. – Teoria generalizzata per accoppiamenti albero mozzo – Atti XXXVI Convegno Nazionale AIAS - Ischia 4-8 settembre 2007 – pp.524-526 - Versione completa su CD;
4. Croccolo D., Cuppini R., Vincenzi N. - Friction coefficient definition in compression-fit couplings applying the DOE method – Strain – An International Journal for Experimental Mechanics, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1475-1305.2007.00363.x> (2007);
5. Croccolo D., Cuppini R., Vincenzi N. – Friction coefficient definition in compression-fit couplings applying the DOE method – ICEM13- 13th International Conference on Experimental Mechanics- July, 1-6 2007 Alexandroupolis, Greece – paper no 176 - pagg. 443-444. Versione completa su CD;
6. Croccolo D., Cuppini R., Vincenzi N. – The design and the optimization of the fork-pin compression joints in front motorbike suspensions – International Design Conference – DESIGN 2006 – May, 15 – 18, 2006 – Dubrovnik, Croatia – pp.807-814;
7. Croccolo D., Cuppini R., Berto F. – Previsione di vita a fatica del perno dello sterzo di una sospensione anteriore motociclistica – Atti XXXIV Convegno Nazionale AIAS Milano 14-17 settembre 2005 – pp.149-150 - Versione completa su CD;
8. Croccolo D., Cuppini R., Vincenzi N. – Verifica e progetto degli accoppiamenti tra il perno di sterzo ed il trapezio di sospensioni motociclistiche – Atti XXXIV Convegno Nazionale AIAS - Milano 14-17 settembre 2005 – pp.51-52 - Versione completa su CD;
9. Croccolo D., Cuppini R., Berto F. – Resistenza a fatica di perni di sterzo per sospensioni motociclistiche soggetti ad uno stato di sollecitazione triassiale – Giornata di studio su Progettazione a Fatica in presenza di Multiassialità Tensionali Problemi teorici e risvolti applicativi - Ferrara 6-7 giugno 2005 – pp. 161-173;
10. Croccolo D., Cuppini R., Berto F.- Fatigue limit prediction of a compression fork-pin coupling of a front motorbike suspension under fully reversed bending load – 4th YSESM – May, 4 th -7th 2005 – Castrocaro Terme (Italy) – pp. 103-104;
11. Berto F., Croccolo D., Cuppini R., Lazzarin P. – Fatigue tests on a compression fork-pin coupling of a front motorbike suspension under fully reversed bending load – 3rd Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics - May 12th-15th, 2004 Porretta Terme (BO), Italia – pp. 59-60.



DIEM



Gruppo di lavoro AIAS
Tecniche di giunzione
27 – 28 Marzo 2008, Vicenza



Dipartimento di Tecnica e
Gestione dei sistemi Industriali
Università di Padova

Stato della Ricerca del DIEM sui Sistemi di Giunzione

GRAZIE PER LA CORTESE ATTENZIONE

D. Croccolo, R. Cuppini, N. Vincenzi, V. dal Re

DIEM - Università di Bologna - Viale Risorgimento, 2 - 40136, Bologna - ITALIA

dario.croccolo@mail.ing.unibo.it