XVIII Seminario Venezolano de Geotecnia *Caracas 9 – 11 Noviembre 2004*

Soportes y revestimientos de túneles en concreto reforzado con fibras metálicas: Principios – Experiencias – Perspectivas

Gianfranco Perri y Giovanni Plizzari

Roberto Perri y Luca Cominoli

Revestimientos de túneles en concreto reforzado con fibras metálicas:
Principios – Experiencias – Perspectivas

G. Perri, R. Perri
University of Caracas, Venezuela

G.A. Plizzari, L. Cominoli
University of Bergamo, Italy

Research founded by Officine Maccaferri

SOCIEDAD VENEZOLANA DE GEOTECNIA
XVIII SEMINARIO SVDG
Caracas (Venezuela) 9-11 November 2004

Seminario Andino de Túneles *Bogotá 16 y 17 Noviembre 2006*

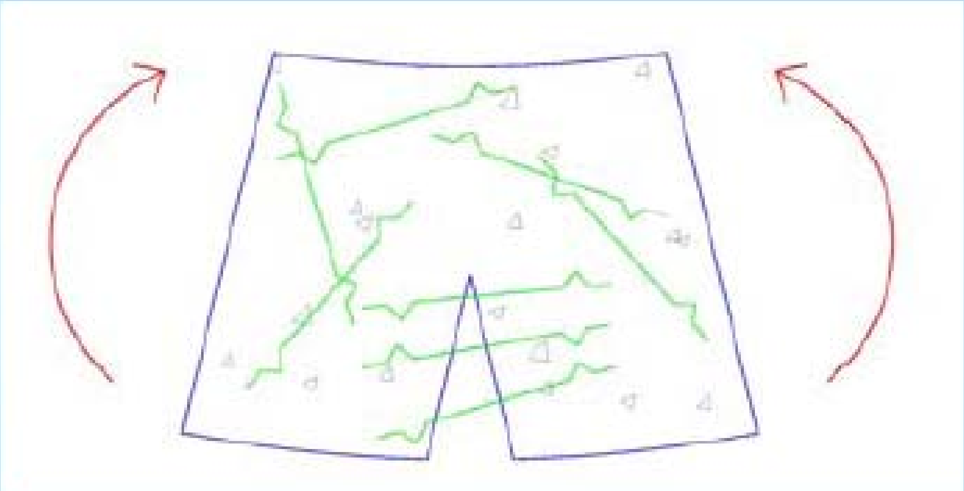
Soportes Revestimientos y Anillos en concreto proyectado en concreto vaciado y en concreto prefabricado reforzados con fibras metálicas

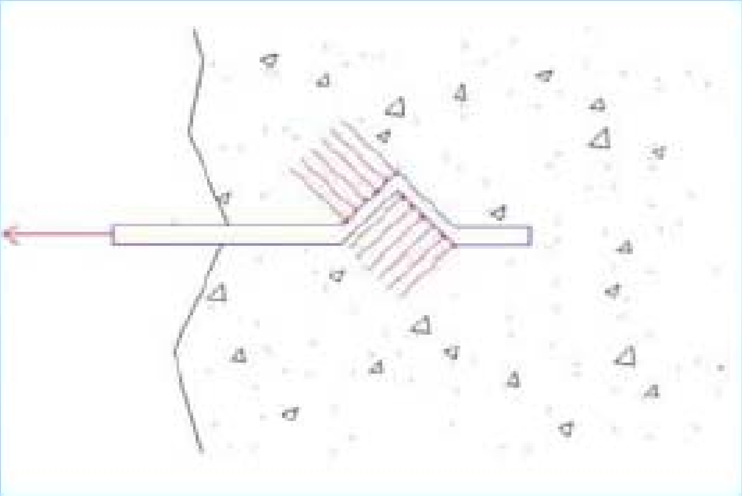
Gianfranco Perri

FIBRAS METÁLICAS PARA EL REFUERZO DEL CONCRETO

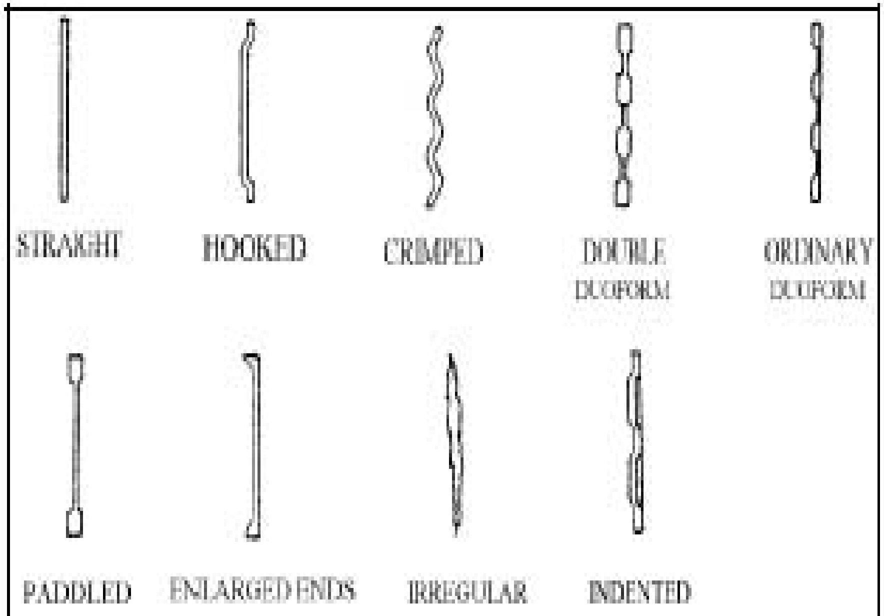
FIBRAS METÁLICAS PARA EL REFUERZO DEL CONCRETO

EFECTO DE LAS FIBRAS EN EL CONCRETO



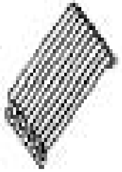


Las fibras se activan después de la fisuraciòn del concreto

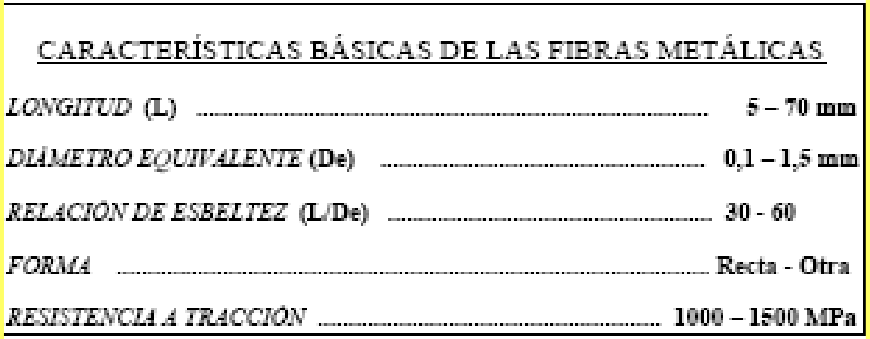


(a) Varie forme di fibre di acciaio.

(b) Tipi di sezioni trasversali.



c) Fibre di acciaio incollate



CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS FIBRAS METÁLICAS

LONGITUD (L)	5 – 70 mm
DIÁMETRO EQUIVALENTE (De)	0,1 – 1,5 mm
RELACIÓN DE ESBELTEZ (L/De)	30 - 60
FORMA	Recta - Otra
RESISTENCIA A TRACCIÓN	1000 – 1500 MPa

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS FIBRAS METÁLICAS

***ESPESOR MÍNIMO DE LA ESTRUCTURA* (e) .... 1.5 L < e**
***DIMENSIÓN MAX. DE LOS AGREGADOS* (a) .... 0,5 L > a**
***DIMENSIÓN MAX. DE LOS AGREGADOS* (a) .... a < 0,3 e**
***DOSIFICACIÓN MÍNIMA* .... 25 Kg/m³**

Ductilidad

es la capacidad de un material de poder soportar apreciables deformaciones conservando buena resistencia

Tenacidad

es la capacidad de un material de oponerse a la propagación de la fisuración disipando energía deformatoria

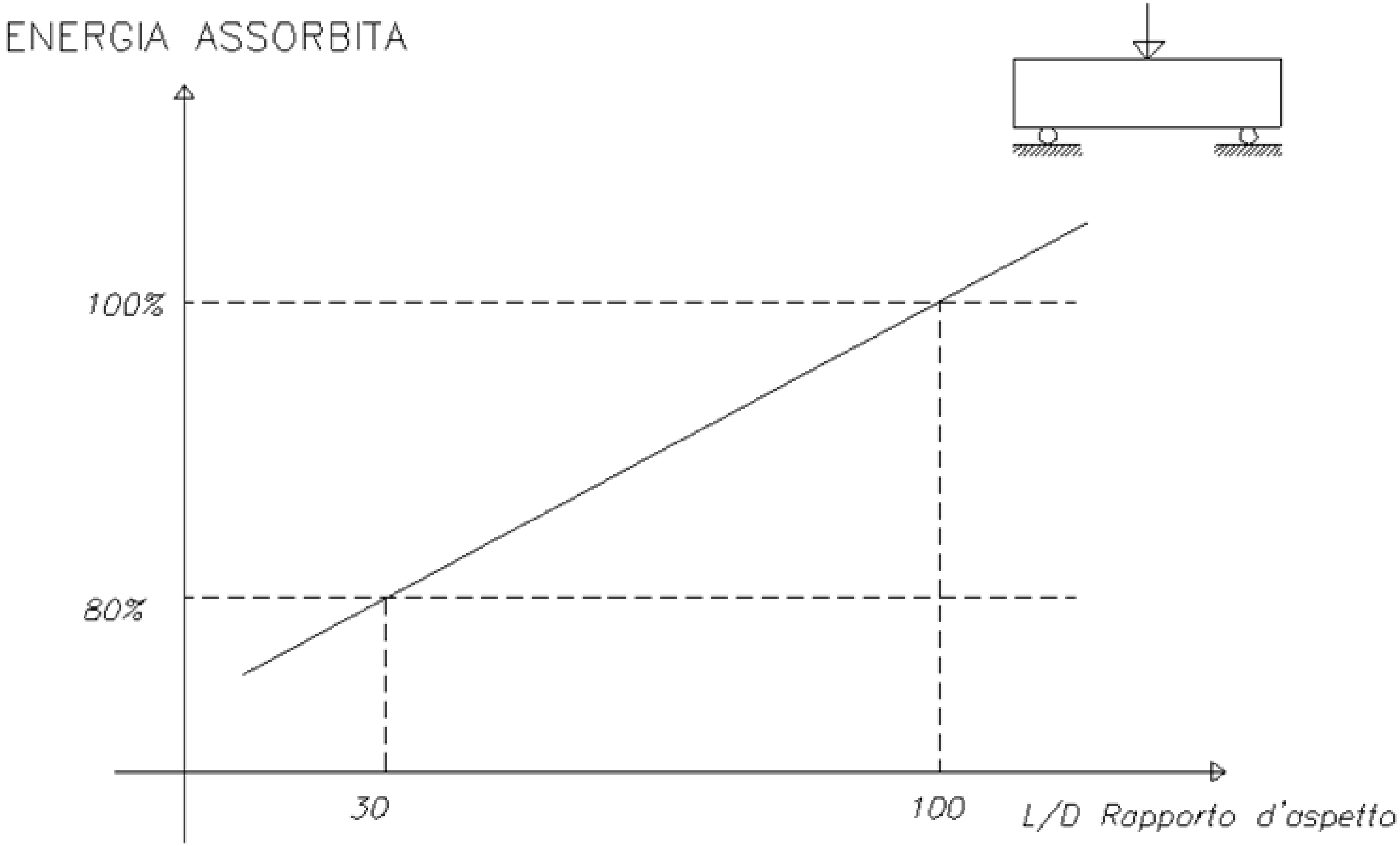
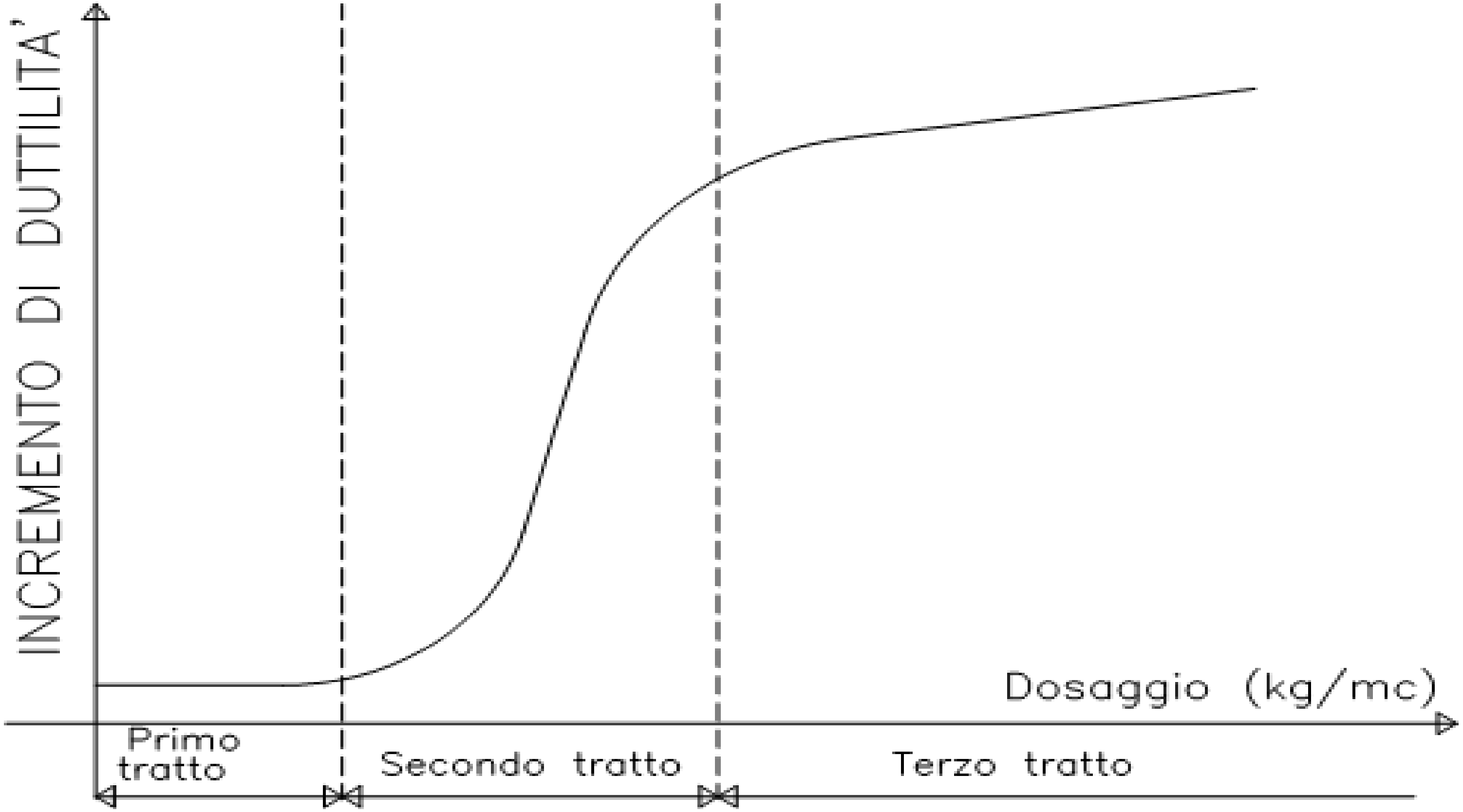


FIGURA 2 – Energía absorbida Vs relación de forma

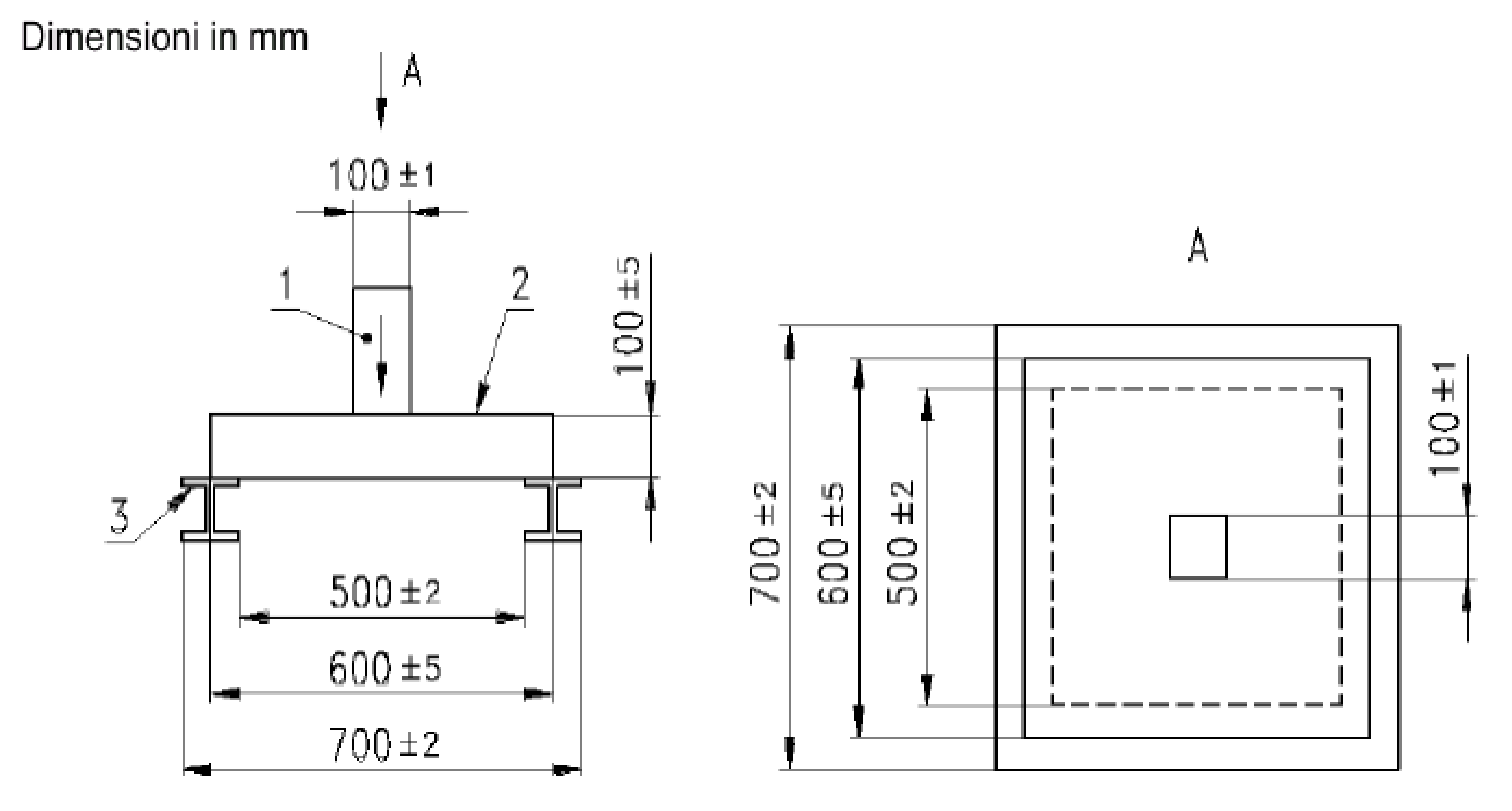
CONCRETO FIBROREFORZADO

COMPORTAMENTO DUTTILE



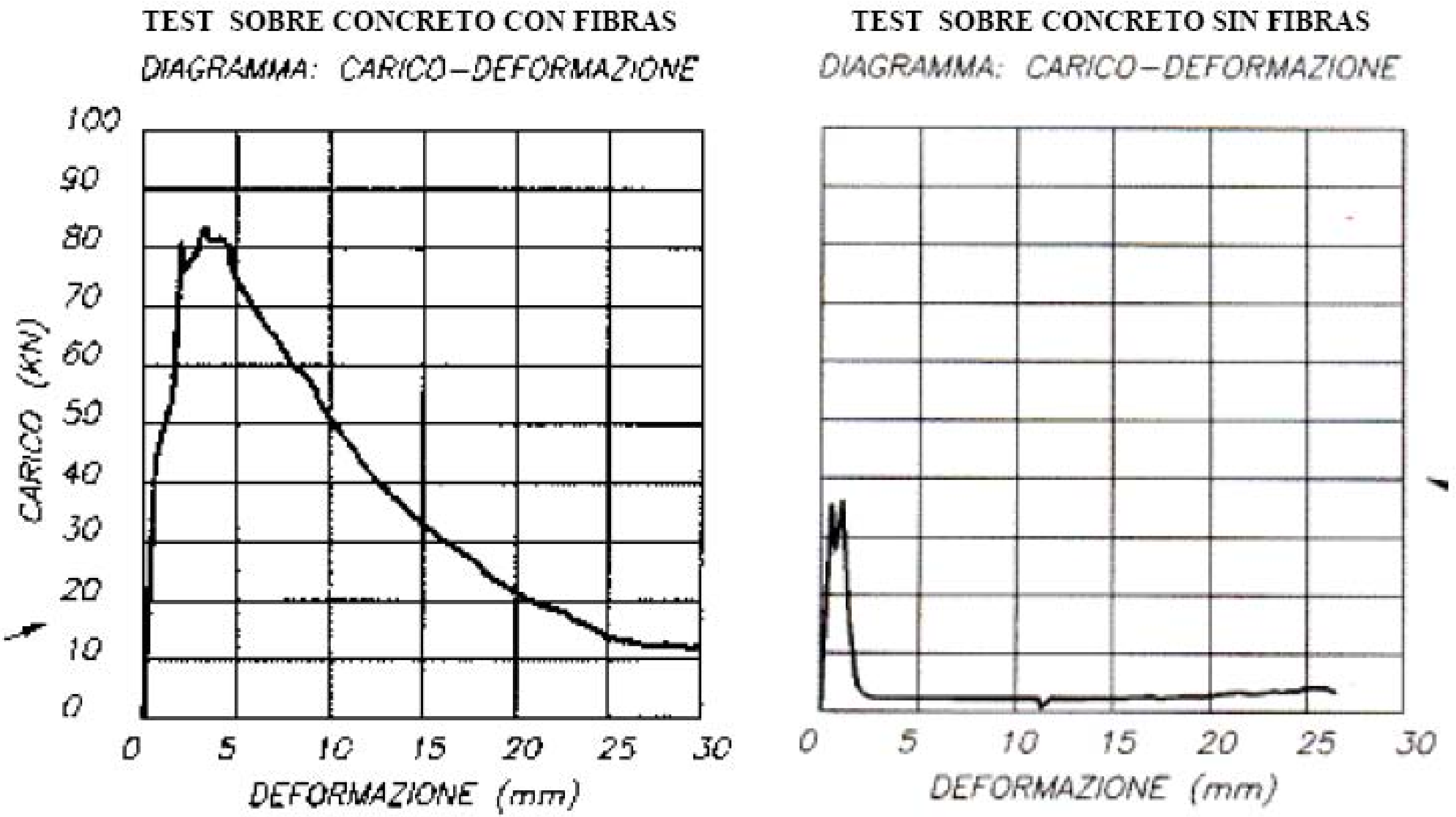
DUTTILITA' E DOSAGGIO DELLE FIBRAS (kg/m^3)

DETERMINACIÓN DE LA TENACIDAD DEL CONCRETO FIBRO-REFORZADO



PRUEBA NORMALIZADA SOBRE PLANCHAS DE CONCRETO FIBRO-REFORZADO


TN



TEST SOBRE CONCRETO CON FIBRAS

TEST SOBRE CONCRETO SIN FIBRAS

FIGURA12.B – Diagramas de tenacidad de concreto fibroreforzado y simple

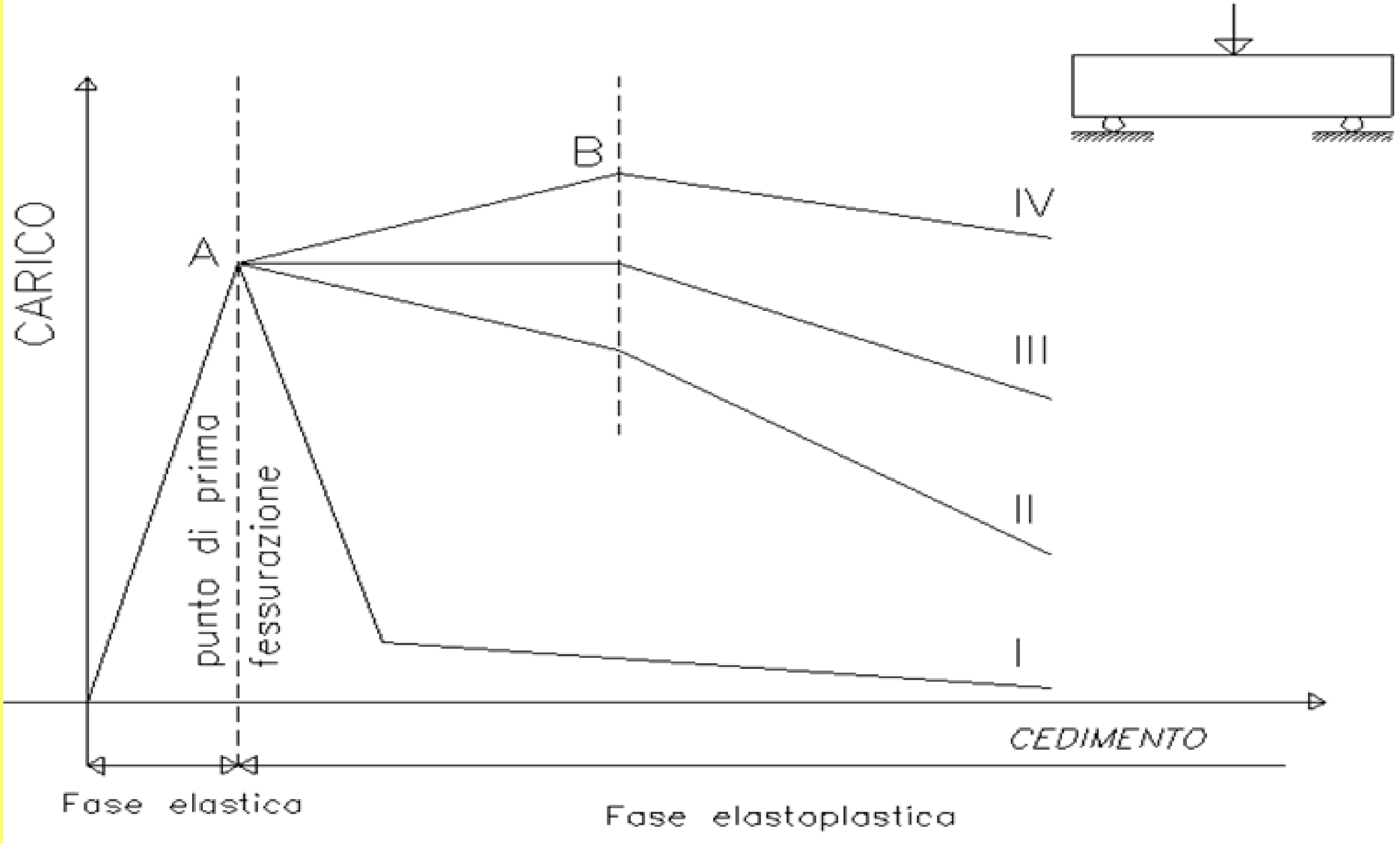
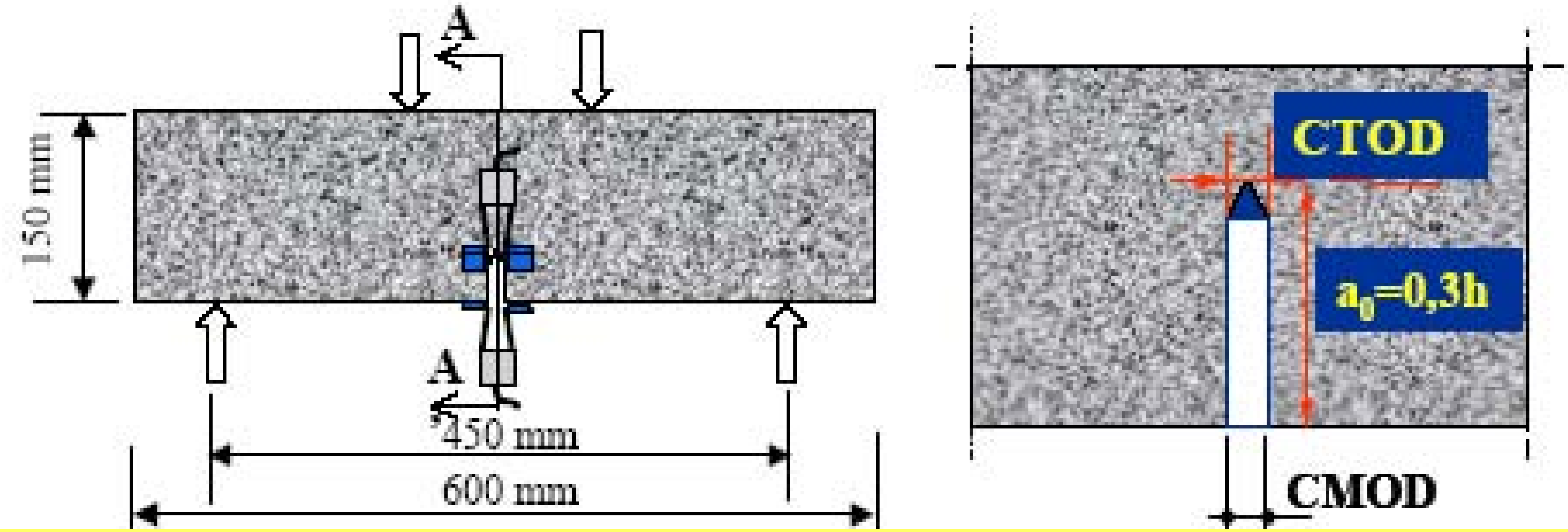
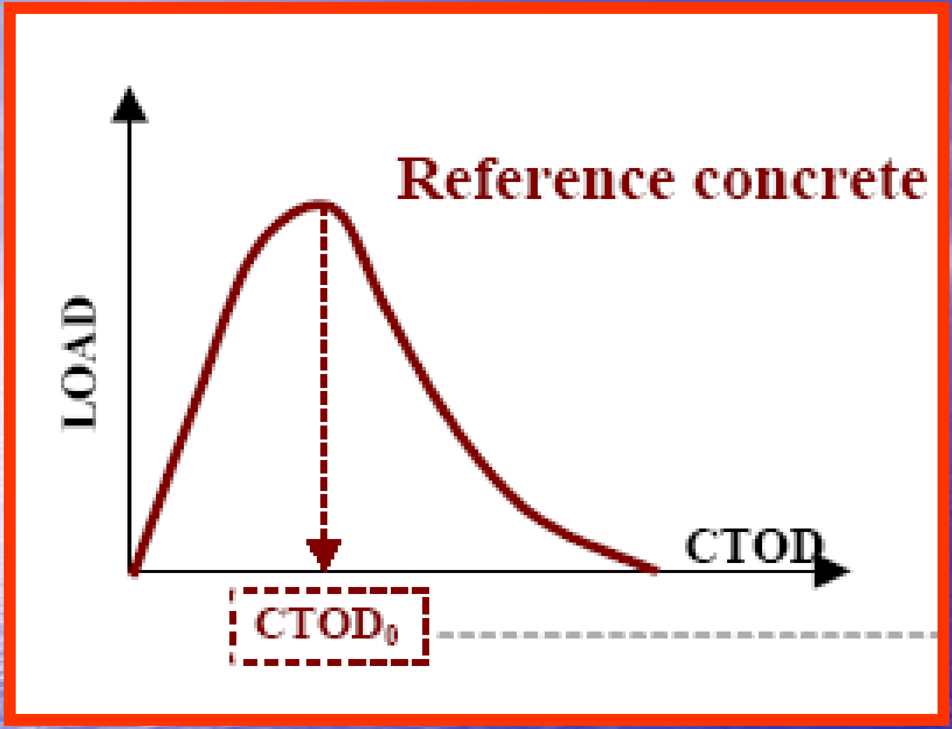


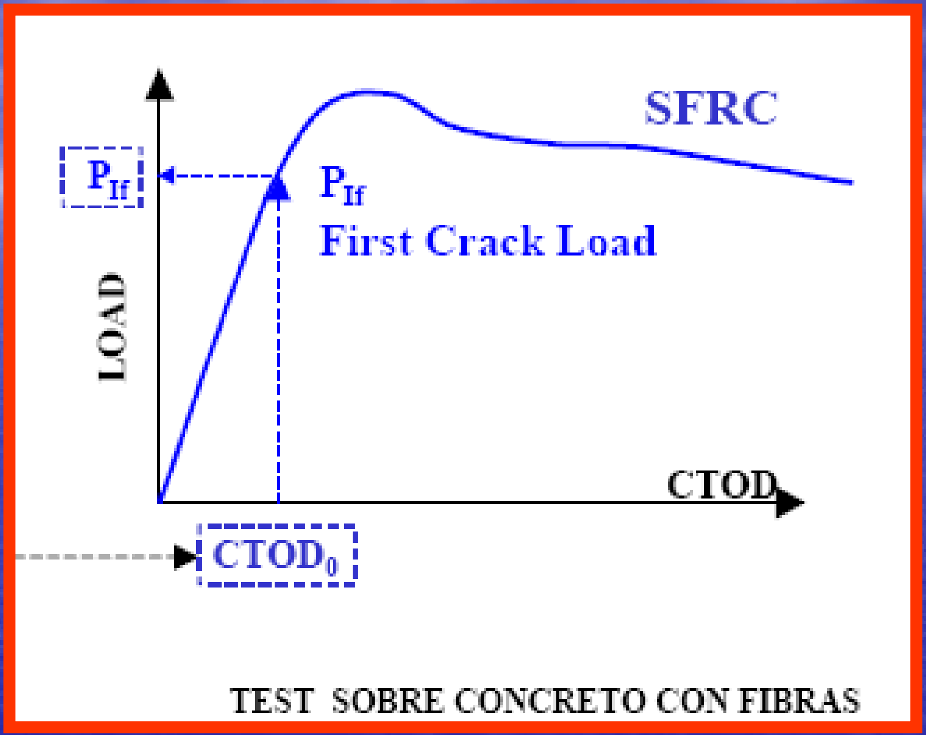
FIGURA 1 – Ensayos de flexión

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA EQUIVALENTE A FLEXIÓN



PRUEBA NORMALIZADA SOBRE VIGAS DE CONCRETO FIBRO-REFORZADO

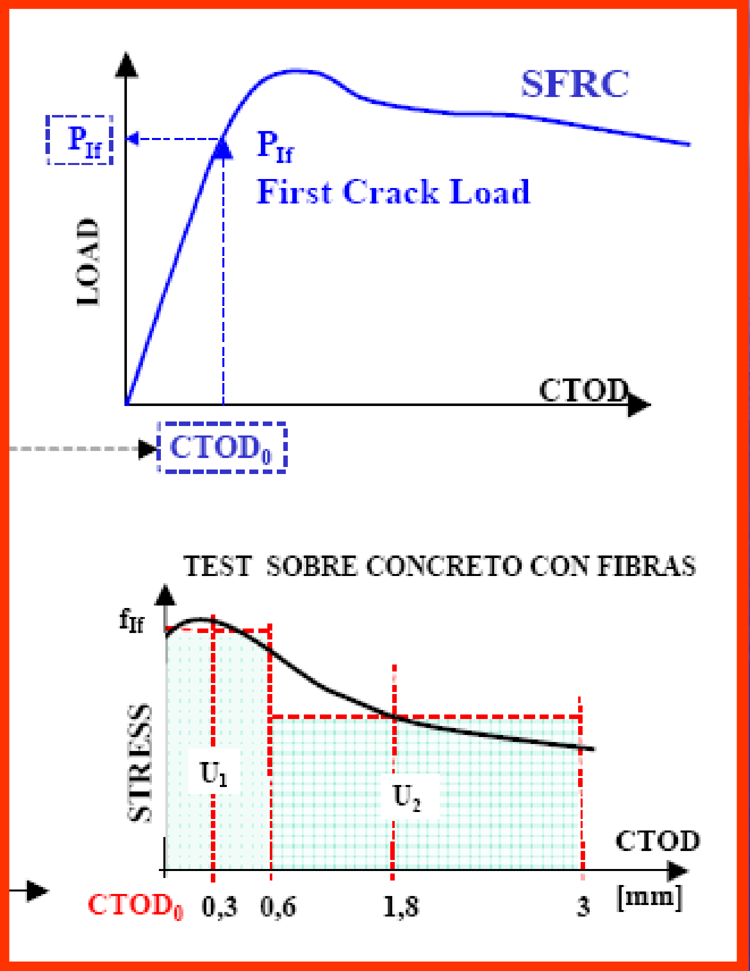


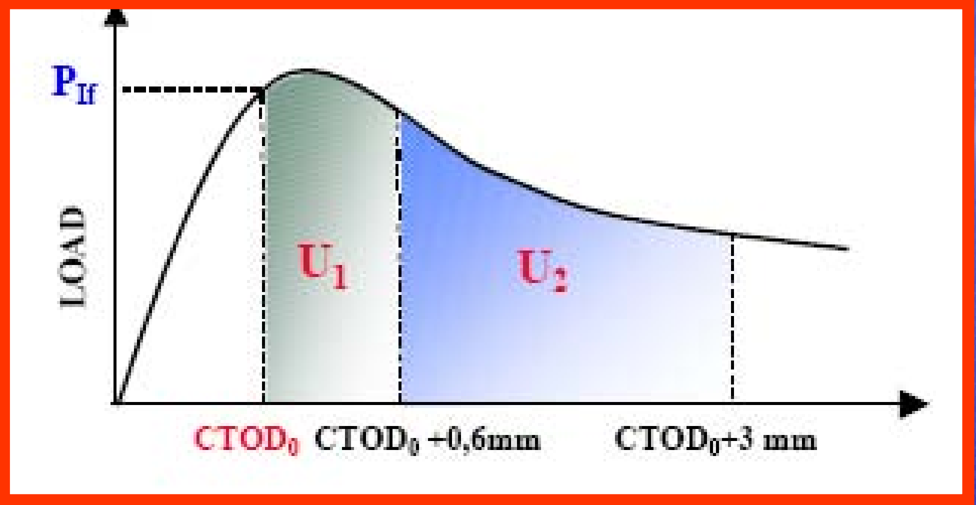


TEST SOBRE CONCRETO CON FIBRAS

$$f_{If} = P_{If}\, l / b(h-a_0)^2$$

$$f_{If} = P_{If}\, l / b(h-a_0)^2$$





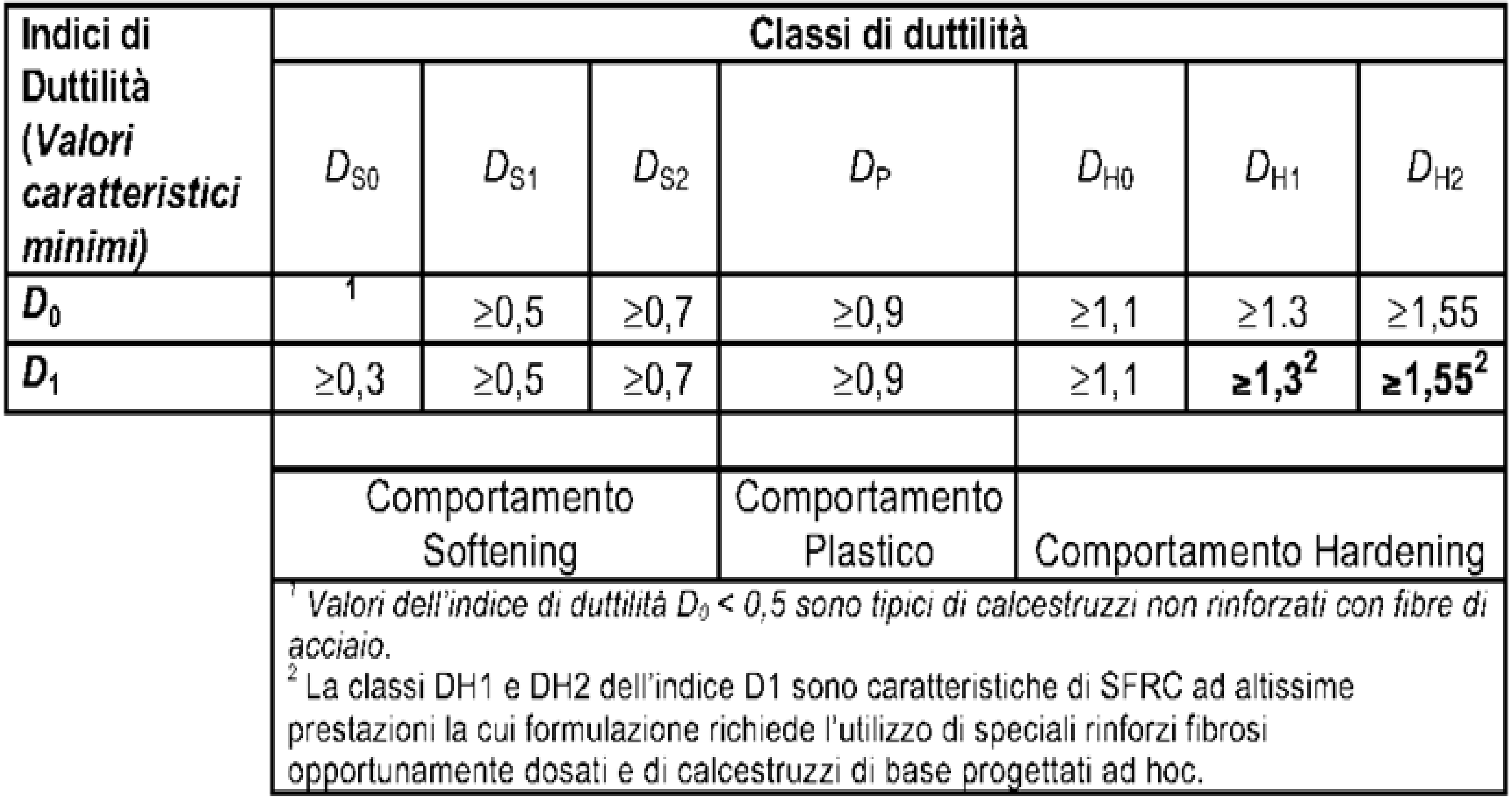
$$f_{eq(0\text{-}0,6)} = (U_1/0,6)\, l / b(h-a_0)^2$$

$$f_{eq(0,6\text{-}3)} = (U_2/2,4)\, l / b(h-a_0)^2$$

$$D_0=f_{eq(0\text{-}0,6)}/f_{If}$$

$$D_1=f_{eq(0,6\text{-}3)}/f_{eq(0\text{-}0,6)}$$

- Clasificación en función de la ductilidad (UNI 11039):



Indici di Duttilità (*Valori caratteristici minimi*)	Classi di duttilità						
	D_{S0}	D_{S1}	D_{S2}	D_P	D_{H0}	D_{H1}	D_{H2}
D_0	[1]	≥0,5	≥0,7	≥0,9	≥1,1	≥1.3	≥1,55
D_1	≥0,3	≥0,5	≥0,7	≥0,9	≥1,1	**≥1,3**[2]	**≥1,55**[2]
	Comportamento Softening			Comportamento Plastico	Comportamento Hardening		

[1] *Valori dell'indice di duttilità D_0 < 0,5 sono tipici di calcestruzzi non rinforzati con fibre di acciaio.*

[2] La classi DH1 e DH2 dell'indice D1 sono caratteristiche di SFRC ad altissime prestazioni la cui formulazione richiede l'utilizzo di speciali rinforzi fibrosi opportunamente dosati e di calcestruzzi di base progettati ad hoc.

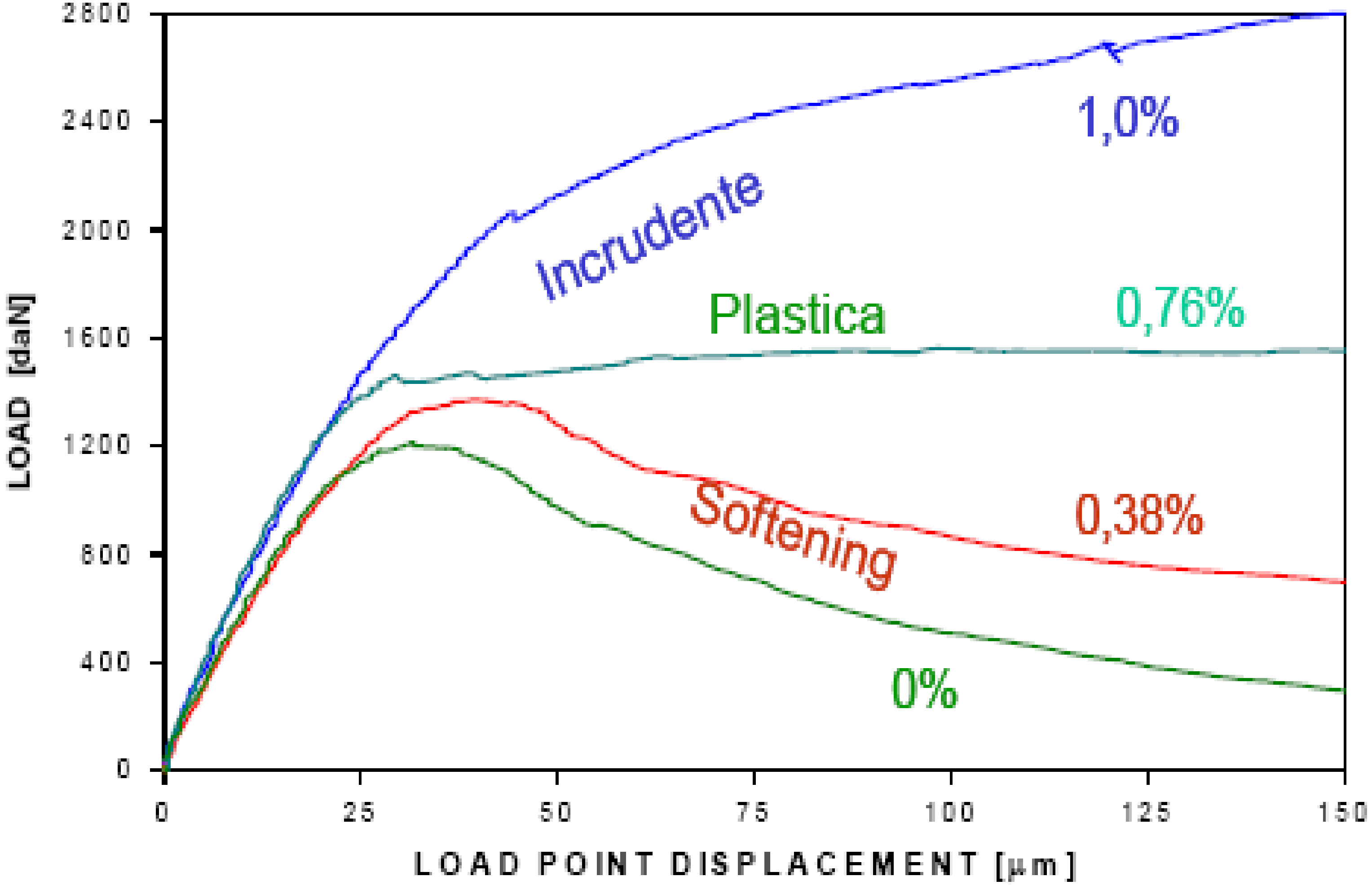
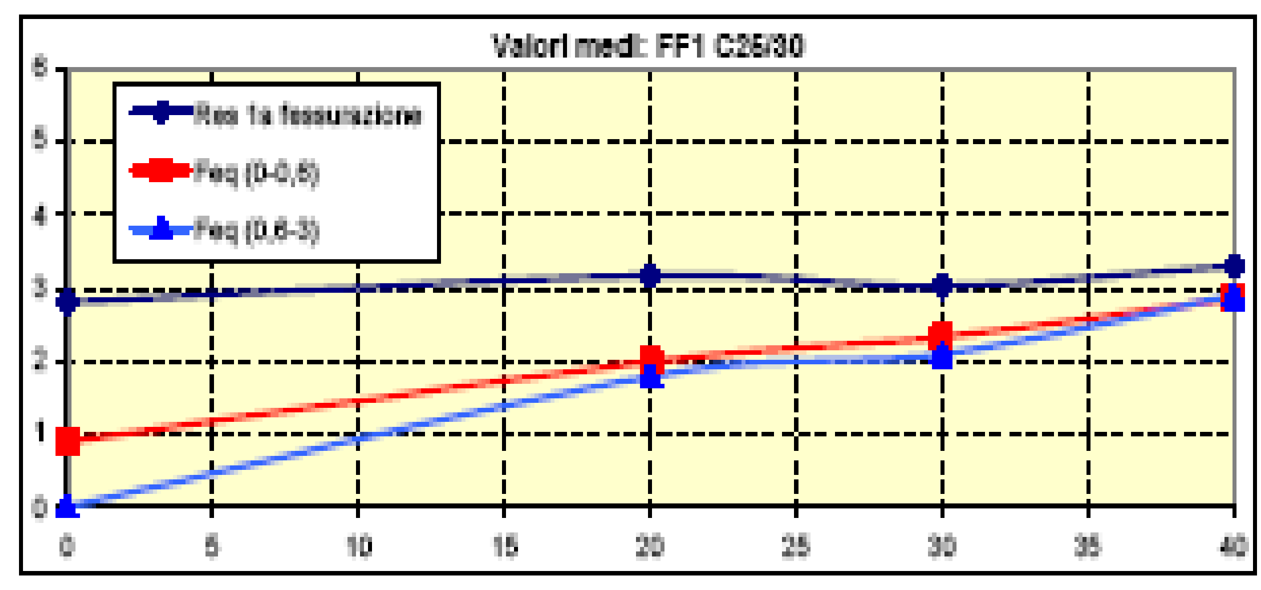
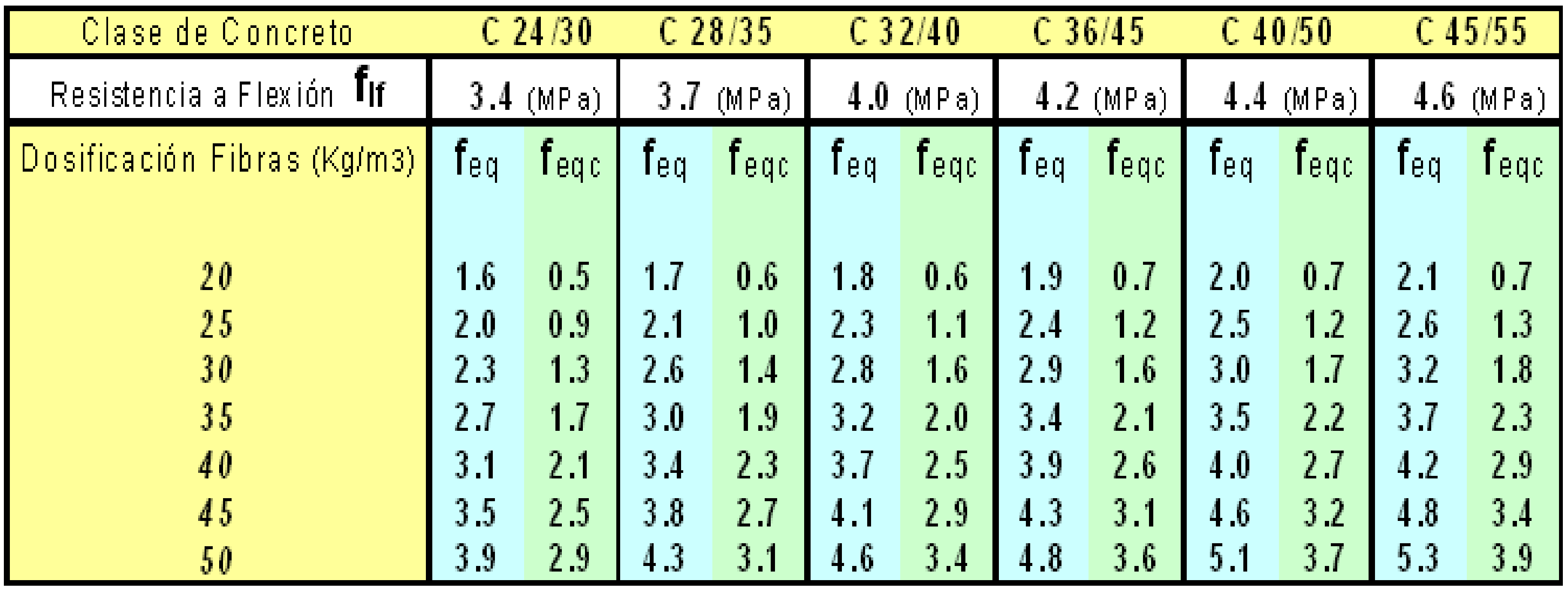


Figura 1 *Posibles comportamientos a flexión del concreto fibro-reforzado*





Clase de Concreto	C 24/30		C 28/35		C 32/40		C 36/45		C 40/50		C 45/55	
Resistencia a Flexión f_{lf}	3.4 (MPa)		3.7 (MPa)		4.0 (MPa)		4.2 (MPa)		4.4 (MPa)		4.6 (MPa)	
Dosificación Fibras (Kg/m3)	f_{eq}	f_{eqc}	f_{eq}	f_{eqc}	f_{eq}	f_{eqc}	f_{eq}	f_{eqc}	f_{eq}	f_{eqc}	f_{eq}	f_{eqc}
20	1.6	0.5	1.7	0.6	1.8	0.6	1.9	0.7	2.0	0.7	2.1	0.7
25	2.0	0.9	2.1	1.0	2.3	1.1	2.4	1.2	2.5	1.2	2.6	1.3
30	2.3	1.3	2.6	1.4	2.8	1.6	2.9	1.6	3.0	1.7	3.2	1.8
35	2.7	1.7	3.0	1.9	3.2	2.0	3.4	2.1	3.5	2.2	3.7	2.3
40	3.1	2.1	3.4	2.3	3.7	2.5	3.9	2.6	4.0	2.7	4.2	2.9
45	3.5	2.5	3.8	2.7	4.1	2.9	4.3	3.1	4.6	3.2	4.8	3.4
50	3.9	2.9	4.3	3.1	4.6	3.4	4.8	3.6	5.1	3.7	5.3	3.9

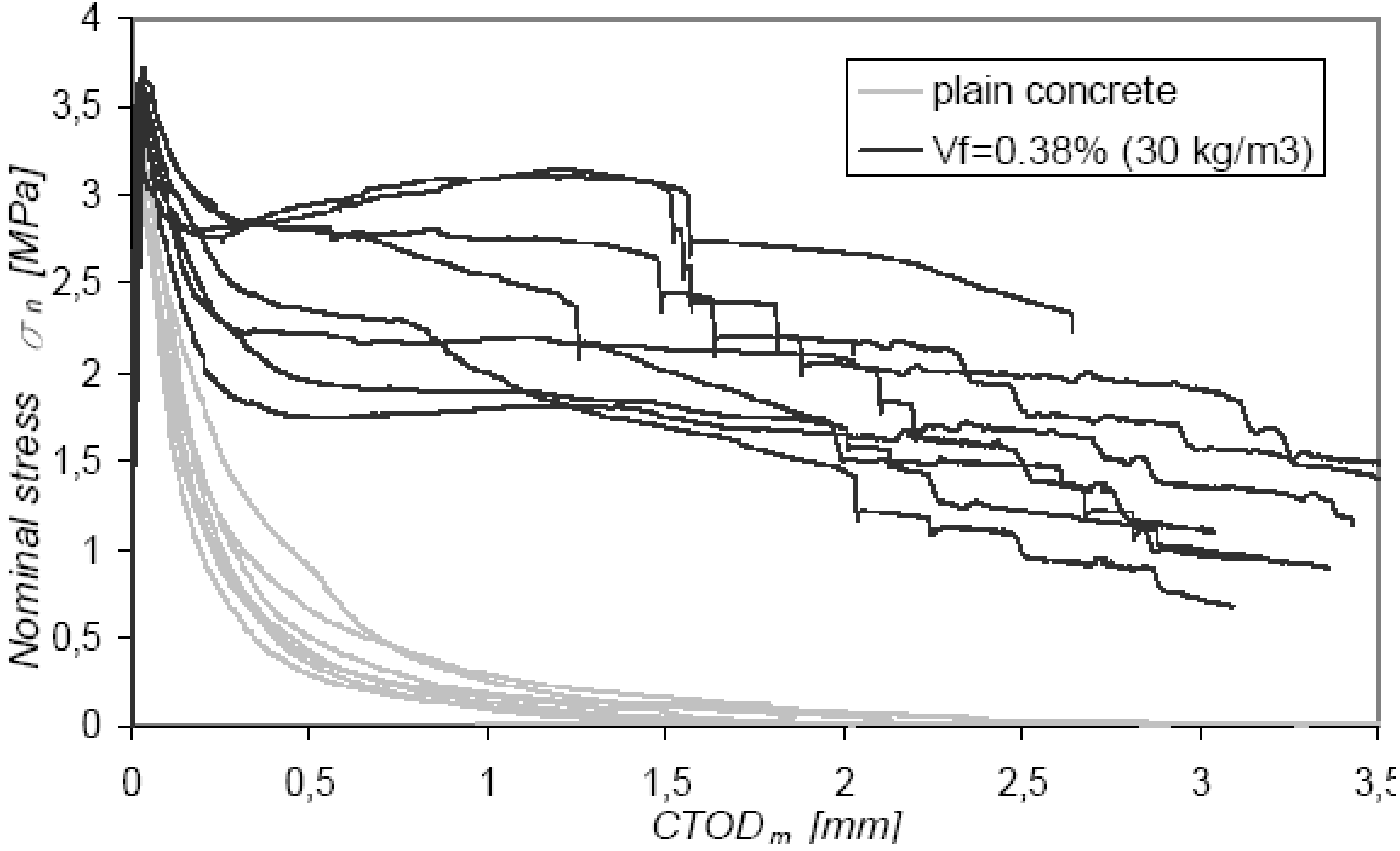
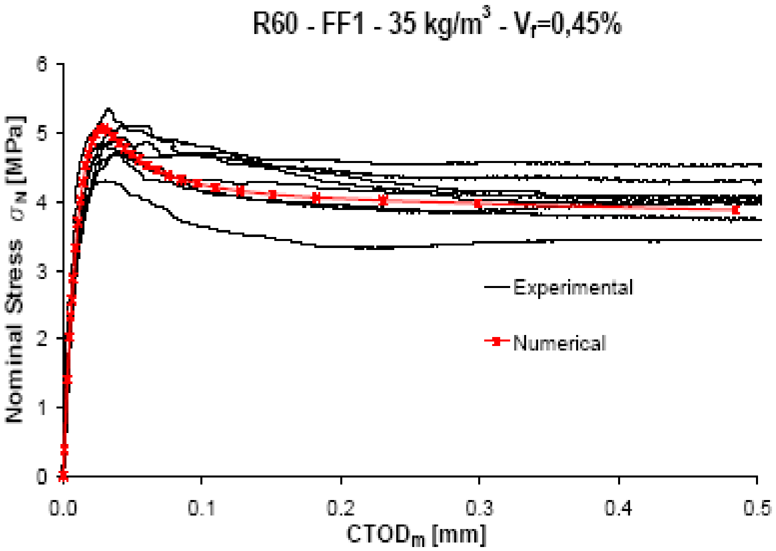
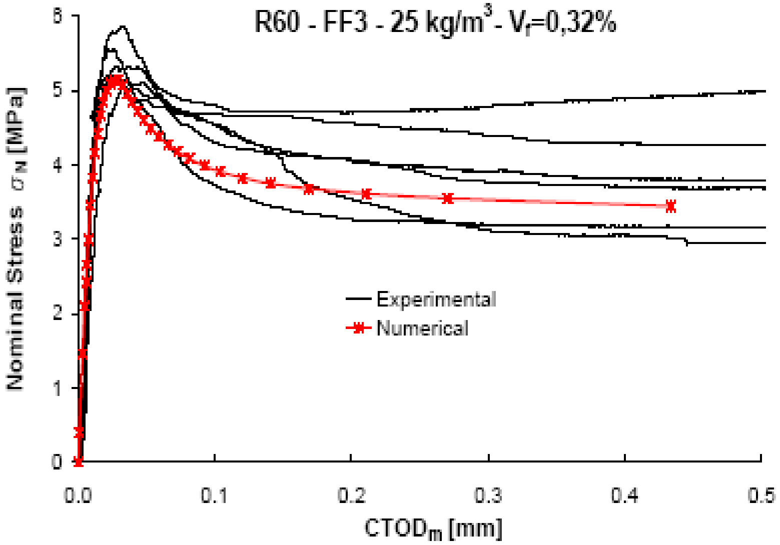
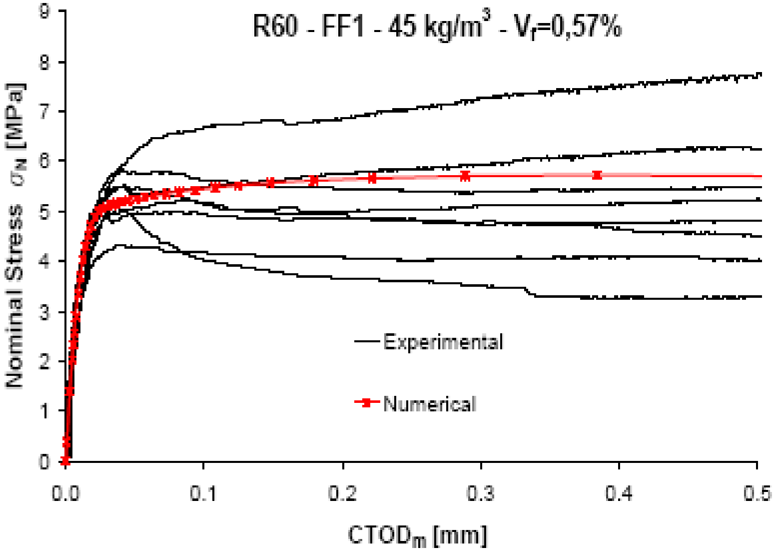
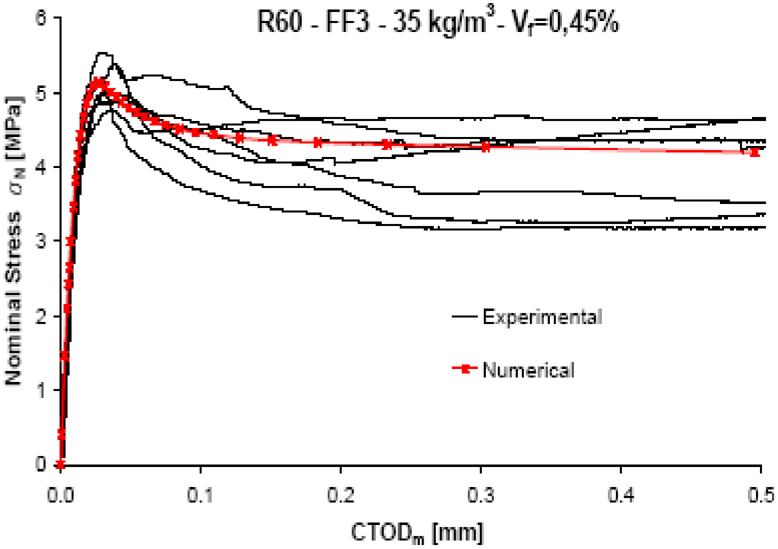


FIGURA 8 – Ejemplo de resultados de ensayos a flexión

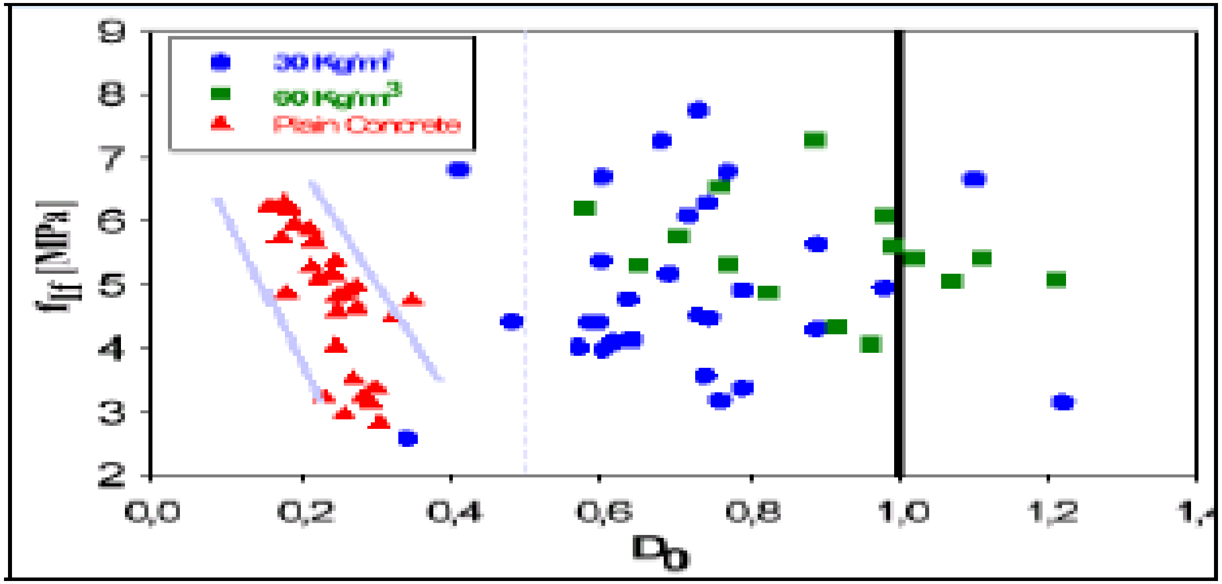

R60 - FF1 - 35 kg/m^3 - V_f=0,45%

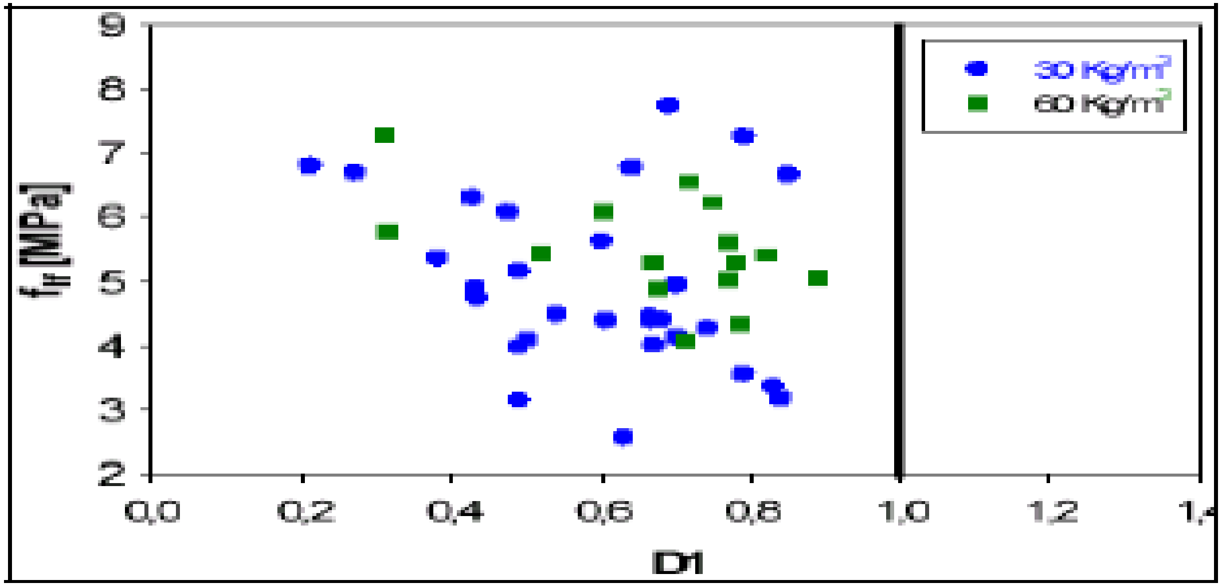

R60 - FF3 - 25 kg/m^3 - V_f=0,32%

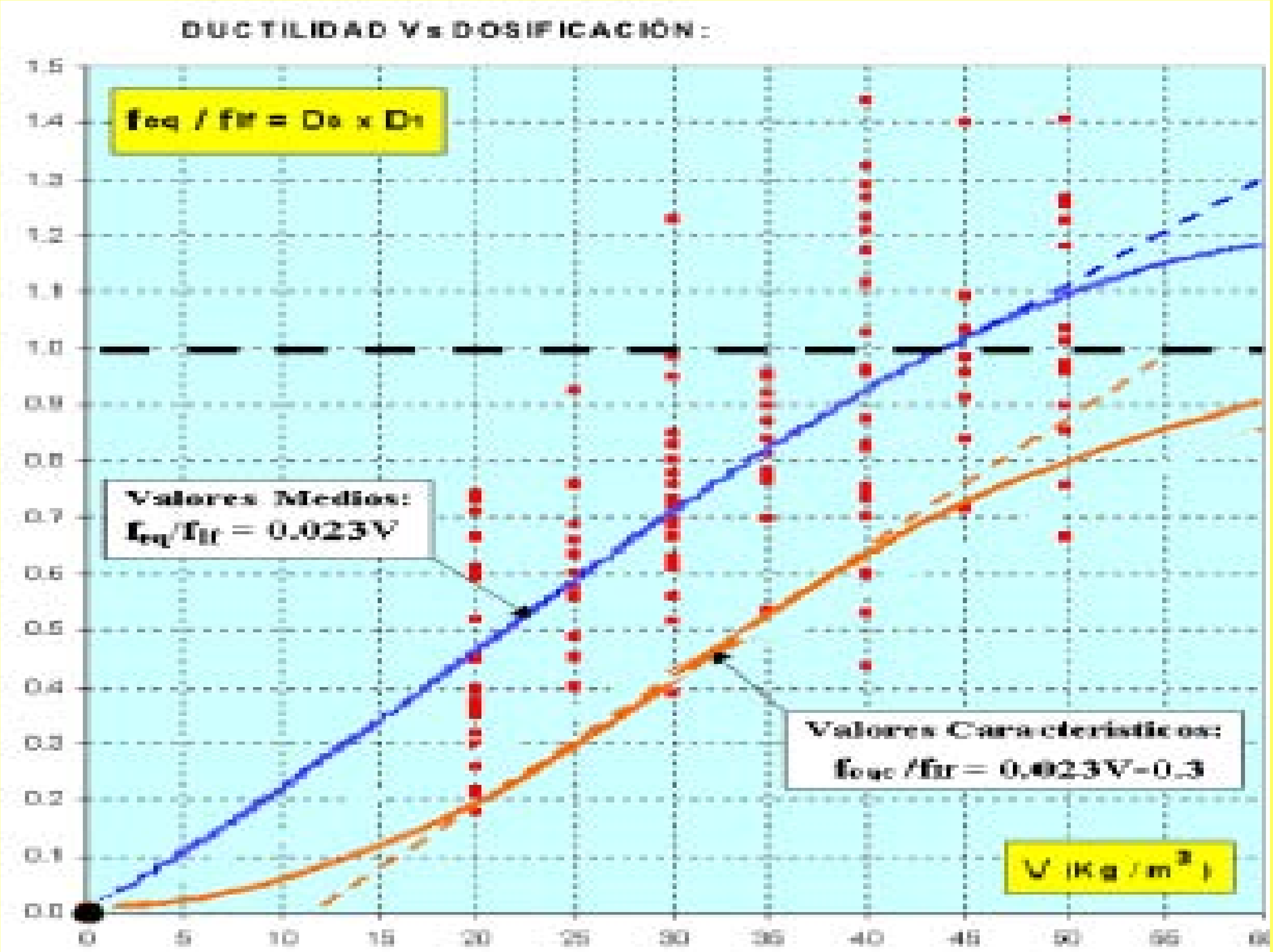

R60 - FF1 - 45 kg/m^3 - V_f=0,57%


R60 - FF3 - 35 kg/m^3 - V_f=0,45%

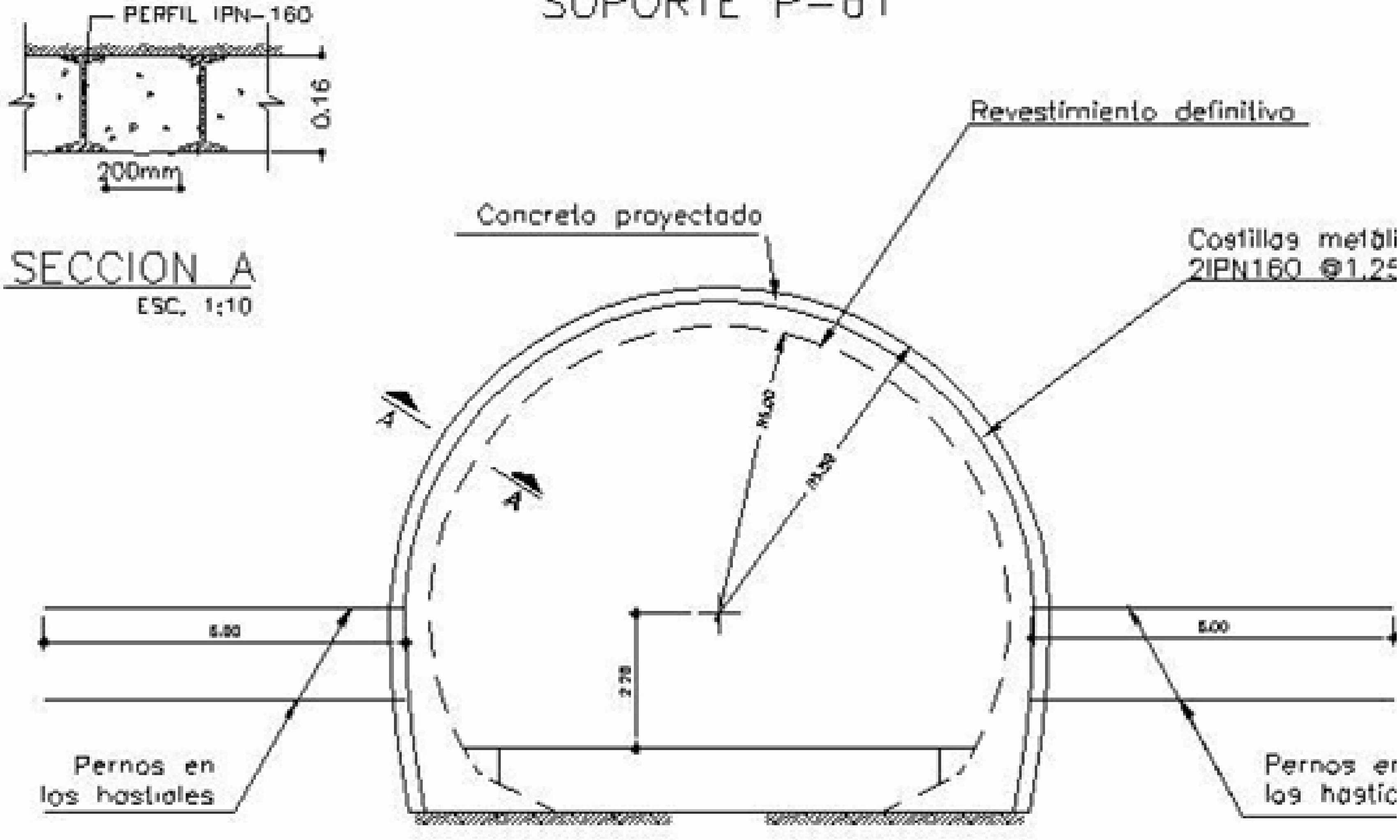
EJEMPLOS DE RESISTENCIA E ÍNDICES DE DUCTILIDAD






DUCTILIDAD Vs DOSIFICACIÓN:
feq / fir = Ds x Dr
Valores Medios:
feq/flt = 0.023V
Valores Caracteristicos:
feqc /fir = 0.023V-0.3
V (Kg / m³)
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60

SOPORTE P-d1


PERFIL IPN-160
0.16
200mm
SECCION A
ESC. 1:10
Concreto proyectado
Revestimiento definitivo
Costillas metáli
2IPN160 @1,2
A
A
5.00
Pernos en
los hastiales
Pernos e
los hastic

SECCIÒN EQUIVALENTE A FLEXIÒN: ARMADA Vs. FIBRO-REFORZADA

$$Mm = 0.9\ Sm\ \sigma y'\ \ d/2$$

$$Mf = feq\ 1000\ \ d^2/6$$

$$Mm = Mf$$

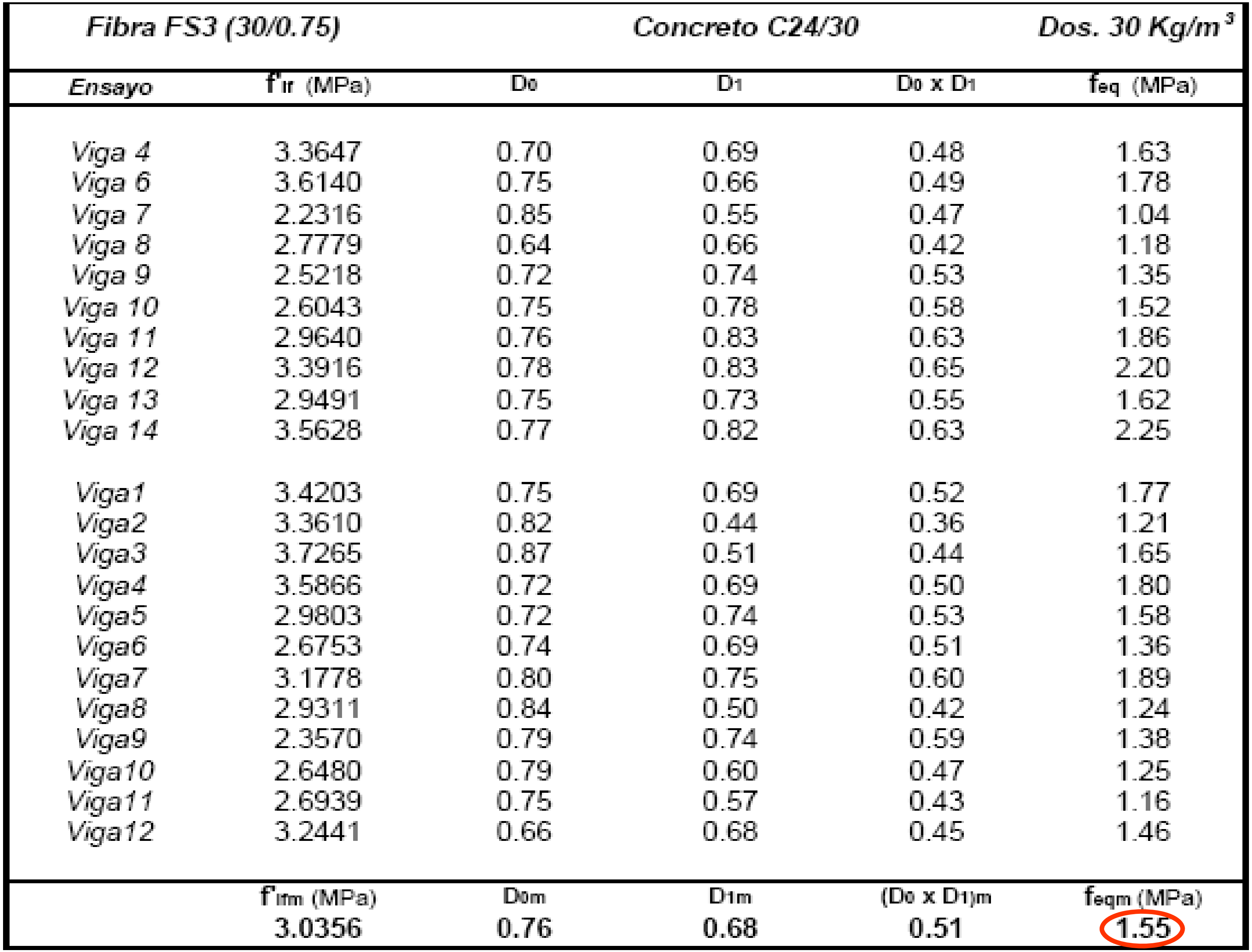
$$feq = 0.0027\ Sm\ \sigma y'/d$$

$$d = 0.0027\ Sm\ \sigma y'/feq$$

DISEÑO CON EL MÈTODO DE LA EQUIVALENCIA A FLEXIÒN

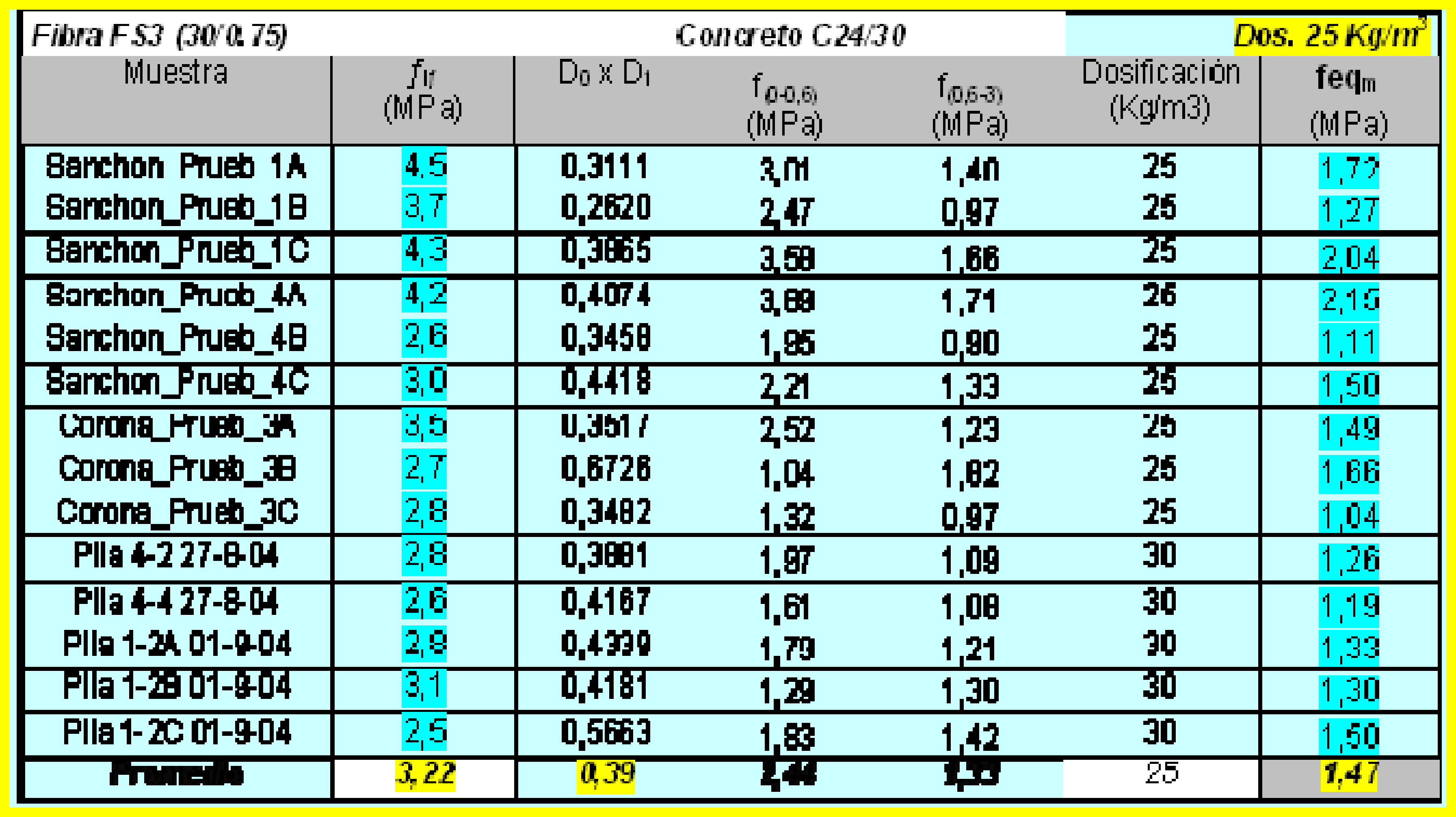
A) Cálculo de la resistencia equivalente requerida		***CONCRETO e = 10cm***		***CONCRETO e = 14cm***		***CONCRETO e = 16cm***		***CONCRETO e = 20cm***	
		Malla (4/100)	*Fibras (0.75x30)*	*Malla (4/100)*	*Fibras (0.75x30)*	*Malla (4/100)*	*Fibras (0.75x30)*	*Malla (4/100)*	*Fibras (0.75x30)*
mm	Espesor (h) de la sección de concreto proyectado	100		140		160		200	
N/mm^2	Resistencia a tracciòn de la malla electrosoldada	414		414		414		414	
mm	Diametro de la malla electrosoldada	4		4		4		4	
mm	Lado de la malla electrosoldada	100		100		100		100	
mm^2	Area (As) de la malla en la sección de 1 metro de base	125,7		125,7		125,7		125,7	
kg/m^2	Peso de la malla/m^2	1,97		1,97		1,97		1,97	
kg/m^3	Peso de la malla/m^3	19,7		14,1		12,3		9,9	
mm	Espesor utile (d) de la secciòn de concreto con malla	50		70		80		100	
Nmm	*Momento Resistente a Flexiòn del concreto con malla*	*2.341.115*		*3.277.561*		*3.745.784*		*4.682.230*	
Nmm	*Momento Resistente a Flexiòn del concreto con fibras*		*2.341.115*		*3.277.561*		*3.745.784*		*4.682.230*
mm	Espesor (h) de la sección de concreto con fibras		100		140		160		200
N/mm^2	Resistencia equivalente feq requerida del concreto con fibras		**1,40**		**1,00**		**0,88**		**0,70**

B) Determinación preliminar de la dosificación fibras		***CONCRETO e = 10cm***		***CONCRETO e = 14cm***		***CONCRETO e = 16cm***		***CONCRETO e = 20cm***	
		Malla (4/100)	*Fibras (0.75x30)*	*Malla (4/100)*	*Fibras (0.75x30)*	*Malla (4/100)*	*Fibras (0.75x30)*	*Malla (4/100)*	*Fibras (0.75x30)*
N/mm^2	Resistencia equivalente feq mínima requerida		**1,40**		**1,00**		**0,88**		**0,70**
N/mm^2	Resistencia teórica por flexión flf del concreto base (C 24/30)		3,40		3,40		3,40		3,40
%	Ductilidad mínima requerida para el concreto con fibras		41		30		26		21
kg/m^3	Dosificaciòn referencial empírica Vs ductilidad requerida		27		23		22		20
%	Rebote de las solas fibras		10		10		10		10
kg/m^3	*Dosificaciòn recomendada (> = 25)*		**30**		**25**		**25**		**25**



Fibra FS3 (30/0.75)			*Concreto C24/30*		*Dos. 30 Kg/m^3*
Ensayo	f'_{lr} (MPa)	D_0	D_1	$D_0 \times D_1$	f_{eq} (MPa)
Viga 4	3.3647	0.70	0.69	0.48	1.63
Viga 6	3.6140	0.75	0.66	0.49	1.78
Viga 7	2.2316	0.85	0.55	0.47	1.04
Viga 8	2.7779	0.64	0.66	0.42	1.18
Viga 9	2.5218	0.72	0.74	0.53	1.35
Viga 10	2.6043	0.75	0.78	0.58	1.52
Viga 11	2.9640	0.76	0.83	0.63	1.86
Viga 12	3.3916	0.78	0.83	0.65	2.20
Viga 13	2.9491	0.75	0.73	0.55	1.62
Viga 14	3.5628	0.77	0.82	0.63	2.25
Viga1	3.4203	0.75	0.69	0.52	1.77
Viga2	3.3610	0.82	0.44	0.36	1.21
Viga3	3.7265	0.87	0.51	0.44	1.65
Viga4	3.5866	0.72	0.69	0.50	1.80
Viga5	2.9803	0.72	0.74	0.53	1.58
Viga6	2.6753	0.74	0.69	0.51	1.36
Viga7	3.1778	0.80	0.75	0.60	1.89
Viga8	2.9311	0.84	0.50	0.42	1.24
Viga9	2.3570	0.79	0.74	0.59	1.38
Viga10	2.6480	0.79	0.60	0.47	1.25
Viga11	2.6939	0.75	0.57	0.43	1.16
Viga12	3.2441	0.66	0.68	0.45	1.46
	f'_{lfm} (MPa)	D_{0m}	D_{1m}	$(D_0 \times D_1)_m$	f_{eqm} (MPa)
	3.0356	**0.76**	**0.68**	**0.51**	**1.55**

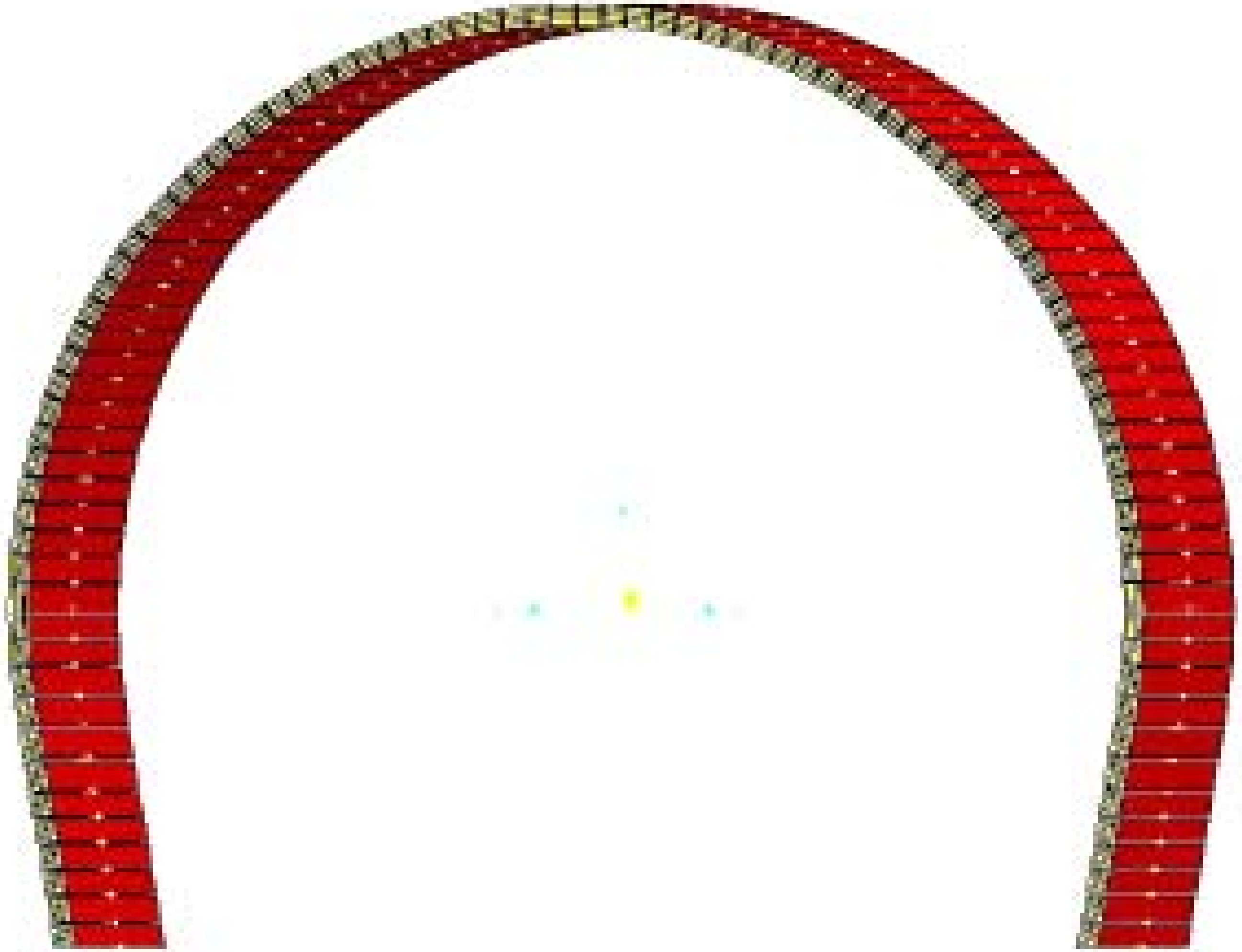
TABLA 10. Resultados de ensayos a flexión sobre vigas de concreto fibroreforzado

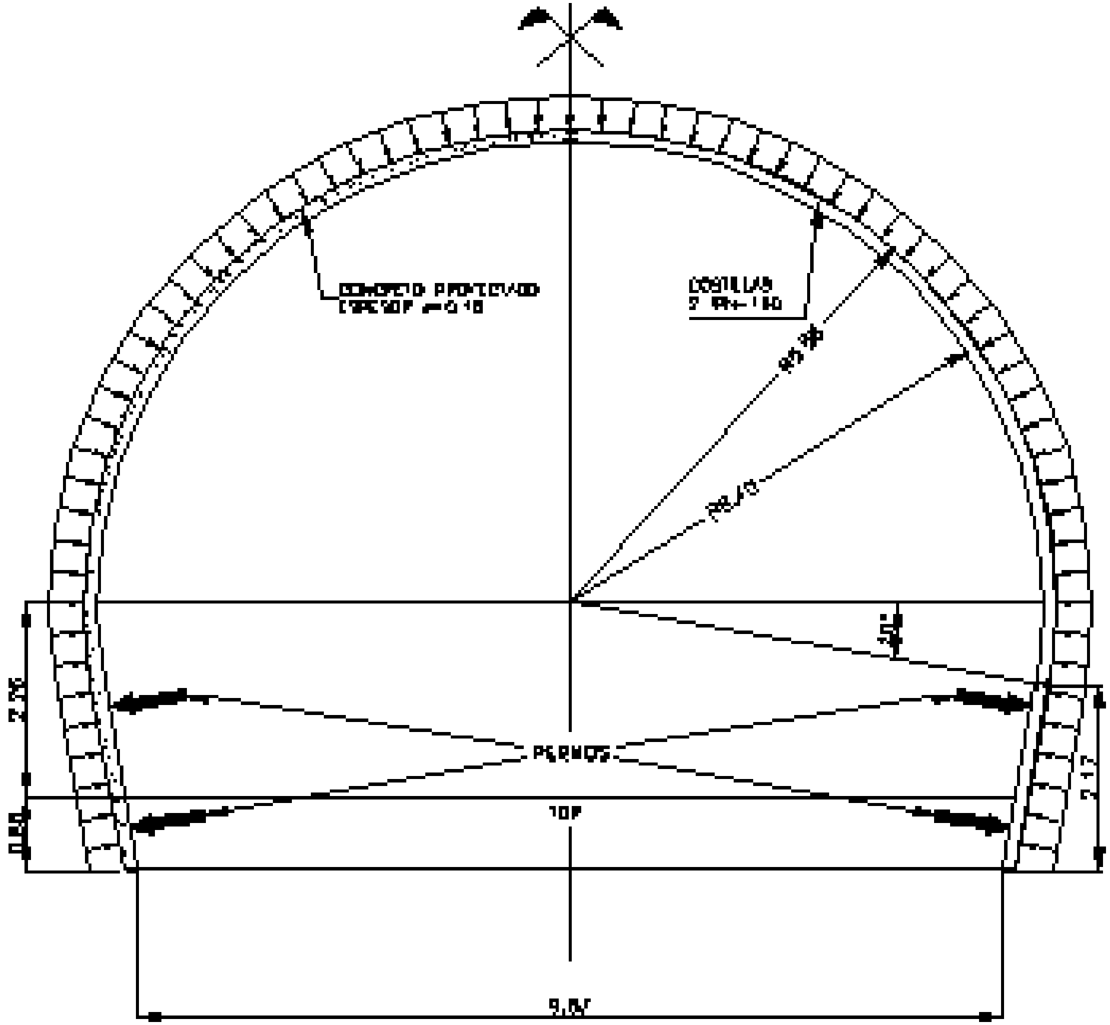


Fibra FS3 (30/0.75) | *Concreto C24/30* | *Dos. 25 Kg/m³*

Muestra	f_{lf} (MPa)	$D_0 \times D_1$	$f_{(0\text{-}0,6)}$ (MPa)	$f_{(0,6\text{-}3)}$ (MPa)	Dosificación (Kg/m3)	**feq_m** (MPa)
Sanchon Prueb 1A	4.5	**0,3111**	**3,01**	**1,40**	**25**	1,77
Sanchon_Prueb_1B	3,7	**0,2620**	**2,47**	**0,97**	**25**	1,27
Sanchon_Prueb_1C	4,3	**0,3865**	**3,58**	**1,66**	**25**	2,04
Sanchon_Prueb_4A	4,2	**0,4074**	**3,69**	**1,71**	**26**	2,15
Sanchon_Prueb_4B	2,6	**0,3458**	**1,95**	**0,90**	**25**	1,11
Sanchon_Prueb_4C	3,0	**0,4418**	**2,21**	**1,33**	**25**	1,50
Corona_Prueb_3A	3,5	**0,3517**	**2,52**	**1,23**	**25**	1,49
Corona_Prueb_3B	2,7	**0,6726**	**1,04**	**1,82**	**25**	1,66
Corona_Prueb_3C	2,8	**0,3482**	**1,32**	**0,97**	**25**	1,04
Pila 4-2 27-8-04	2,8	**0,3881**	**1,97**	**1,09**	**30**	1,26
Pila 4-4 27-8-04	2,6	**0,4167**	**1,61**	**1,08**	**30**	1,19
Pila 1-2A 01-9-04	2,9	**0,4339**	**1,79**	**1,21**	**30**	1,33
Pila 1-2B 01-9-04	3,1	**0,4181**	**1,29**	**1,30**	**30**	1,30
Pila 1-2C 01-9-04	2,5	**0,5663**	**1,83**	**1,42**	**30**	1,50
Promedio	*3,22*	*0,39*	***2,44***	***1,33***	25	***1,47***

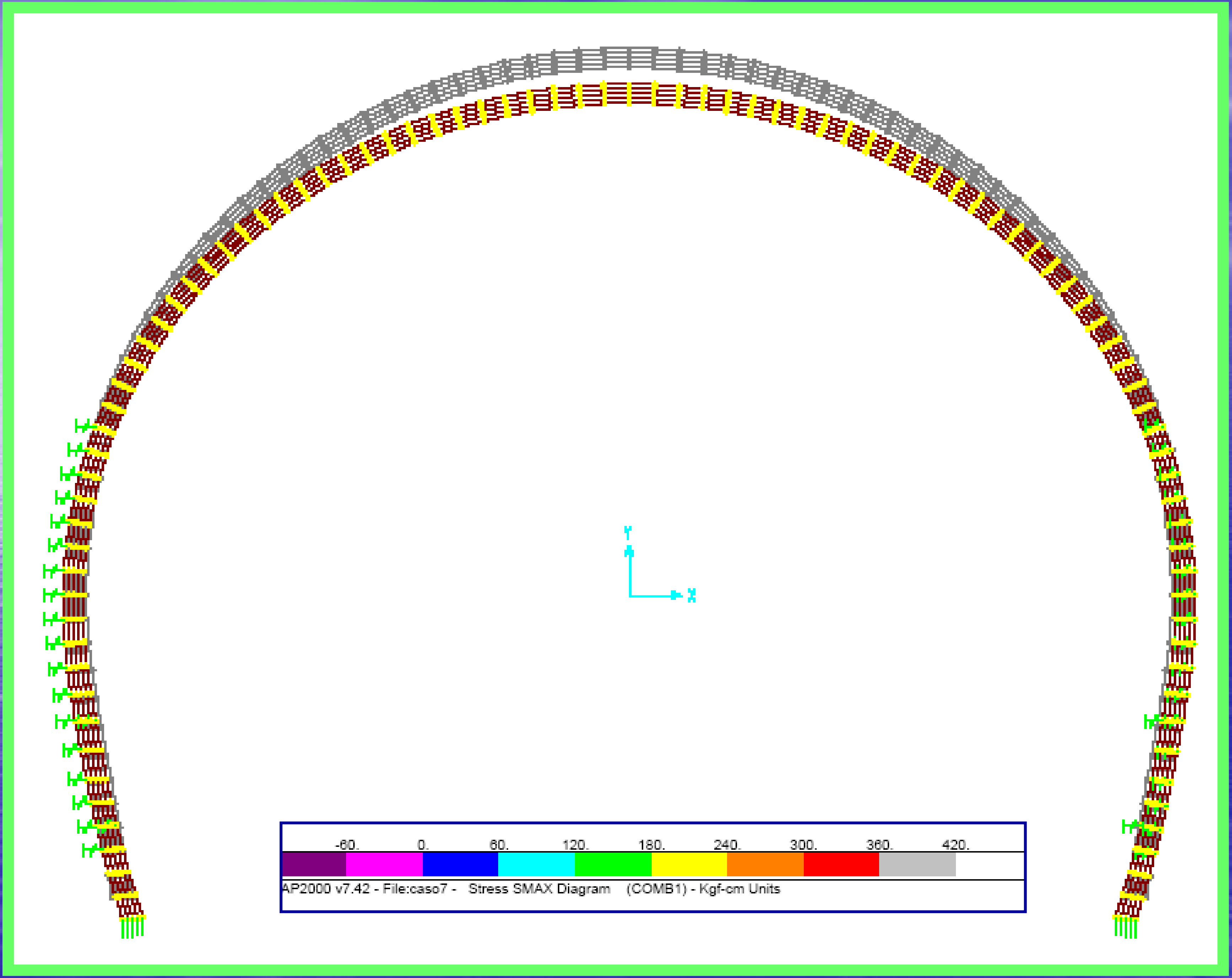
MODELO SOPORTE PRIMARIO



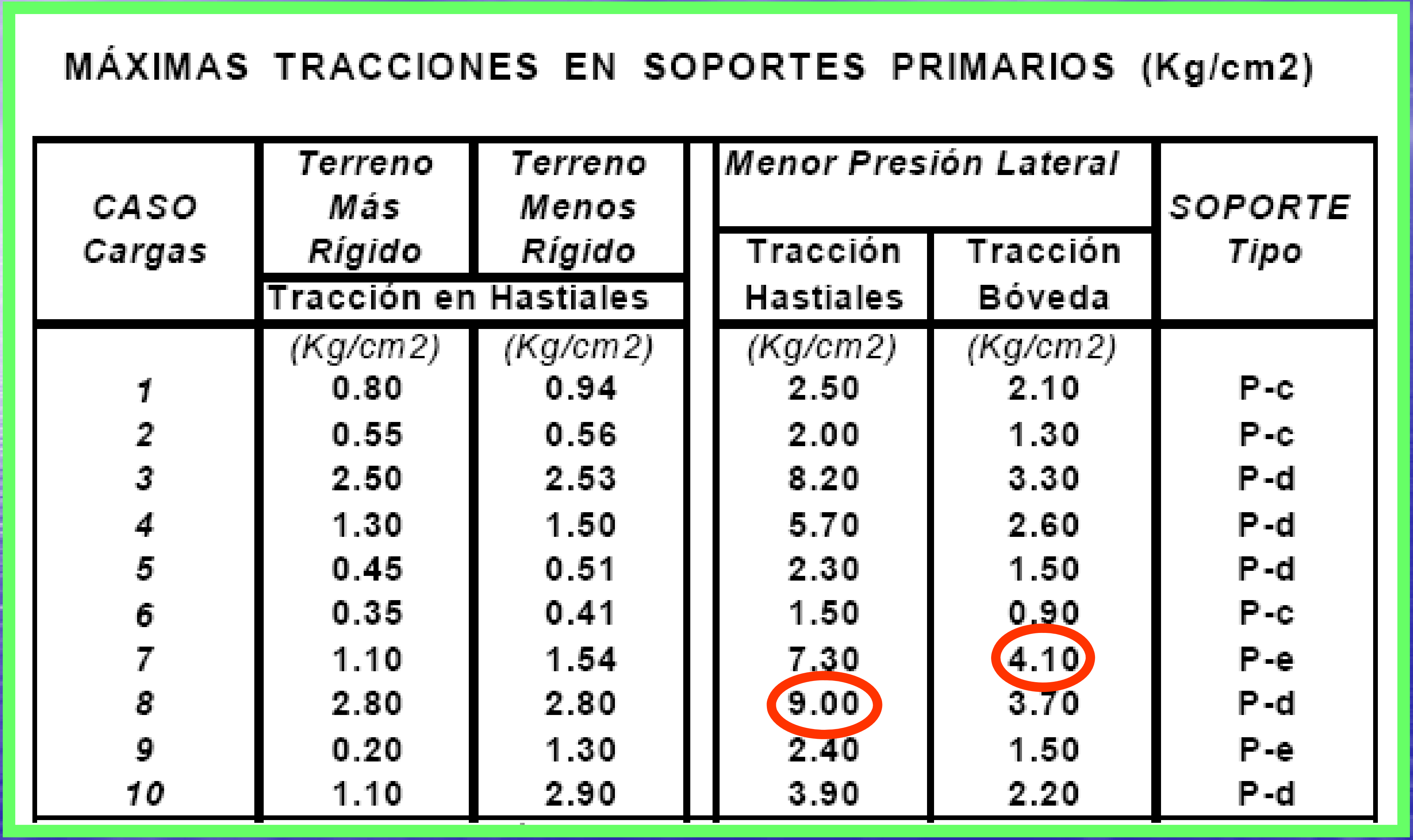


SOPORTE PRIMARIO P-d

Esquema de Cargas

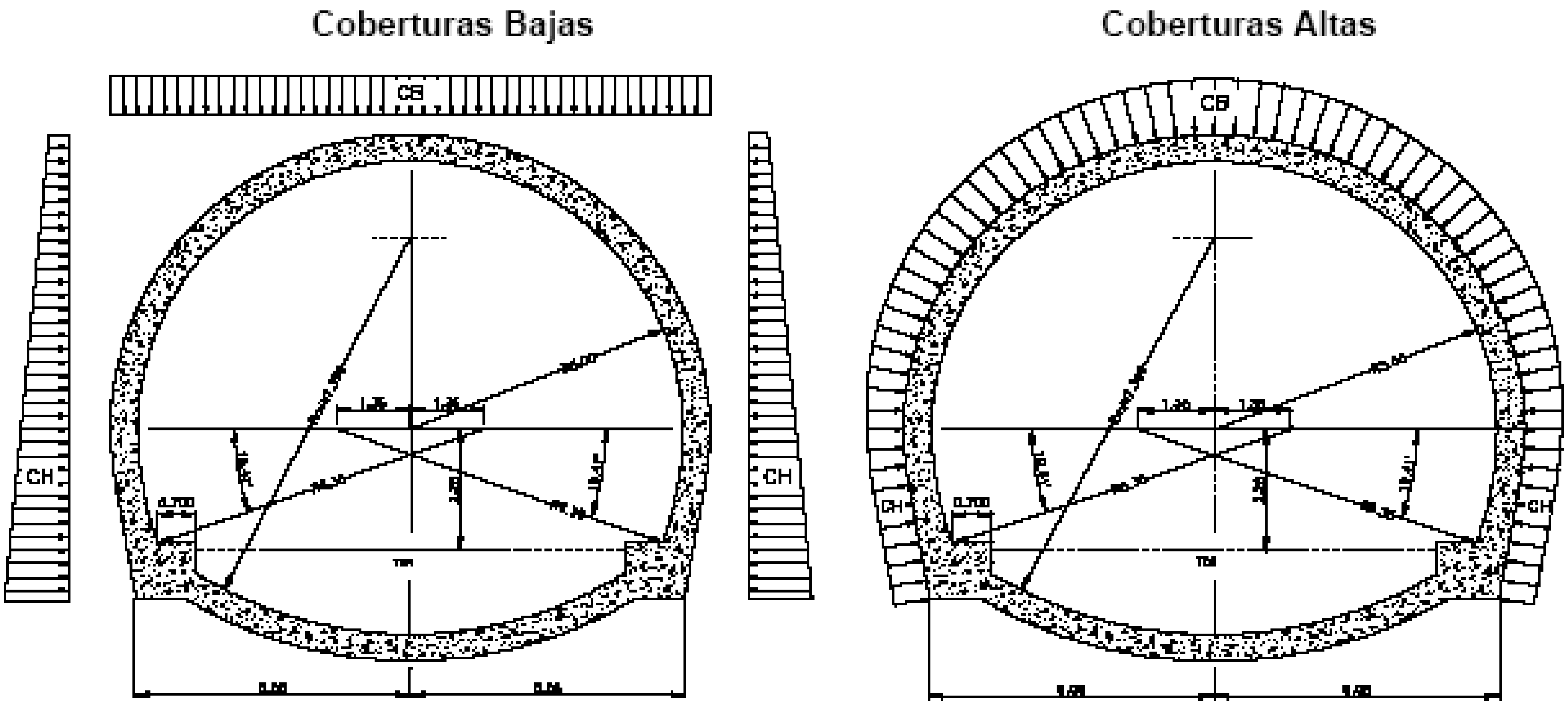


AP2000 v7.42 - File:caso7 - Stress SMAX Diagram (COMB1) - Kgf-cm Units



MÁXIMAS TRACCIONES EN SOPORTES PRIMARIOS (Kg/cm2)

CASO Cargas	*Terreno Más Rígido*	*Terreno Menos Rígido*	*Menor Presión Lateral*		*SOPORTE Tipo*
	Tracción en Hastiales		Tracción Hastiales	Tracción Bóveda	
	(Kg/cm2)	*(Kg/cm2)*	*(Kg/cm2)*	*(Kg/cm2)*	
1	0.80	0.94	2.50	2.10	P-c
2	0.55	0.56	2.00	1.30	P-c
3	2.50	2.53	8.20	3.30	P-d
4	1.30	1.50	5.70	2.60	P-d
5	0.45	0.51	2.30	1.50	P-d
6	0.35	0.41	1.50	0.90	P-c
7	1.10	1.54	7.30	4.10	P-e
8	2.80	2.80	9.00	3.70	P-d
9	0.20	1.30	2.40	1.50	P-e
10	1.10	2.90	3.90	2.20	P-d



Coberturas Bajas

Coberturas Altas

Figura 23 *Esquemas de cargas de Bajas Coberturas y de Altas Coberturas*

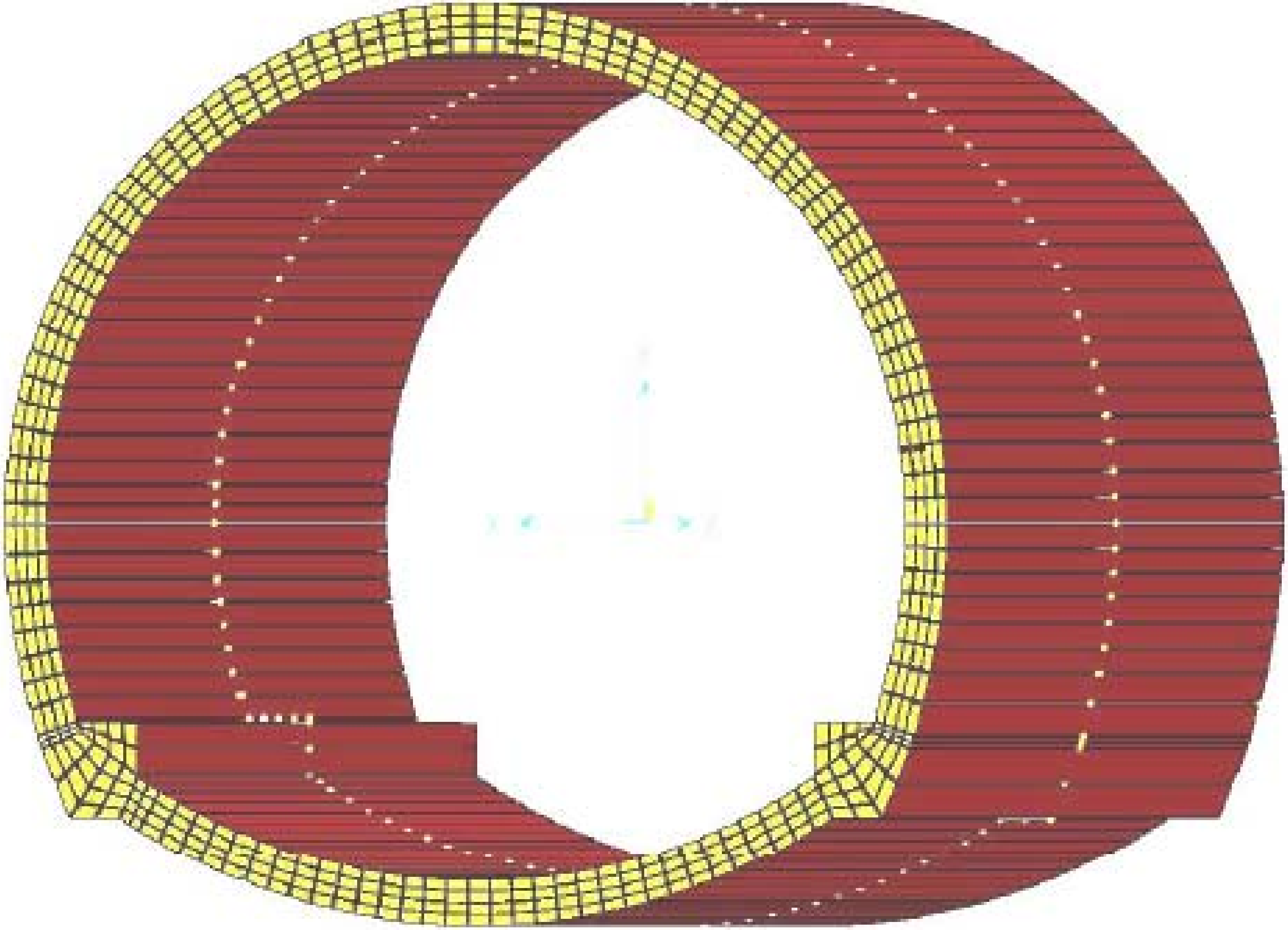


Figura 22 *Modelo numérico SAP para el revestimiento de los túneles*

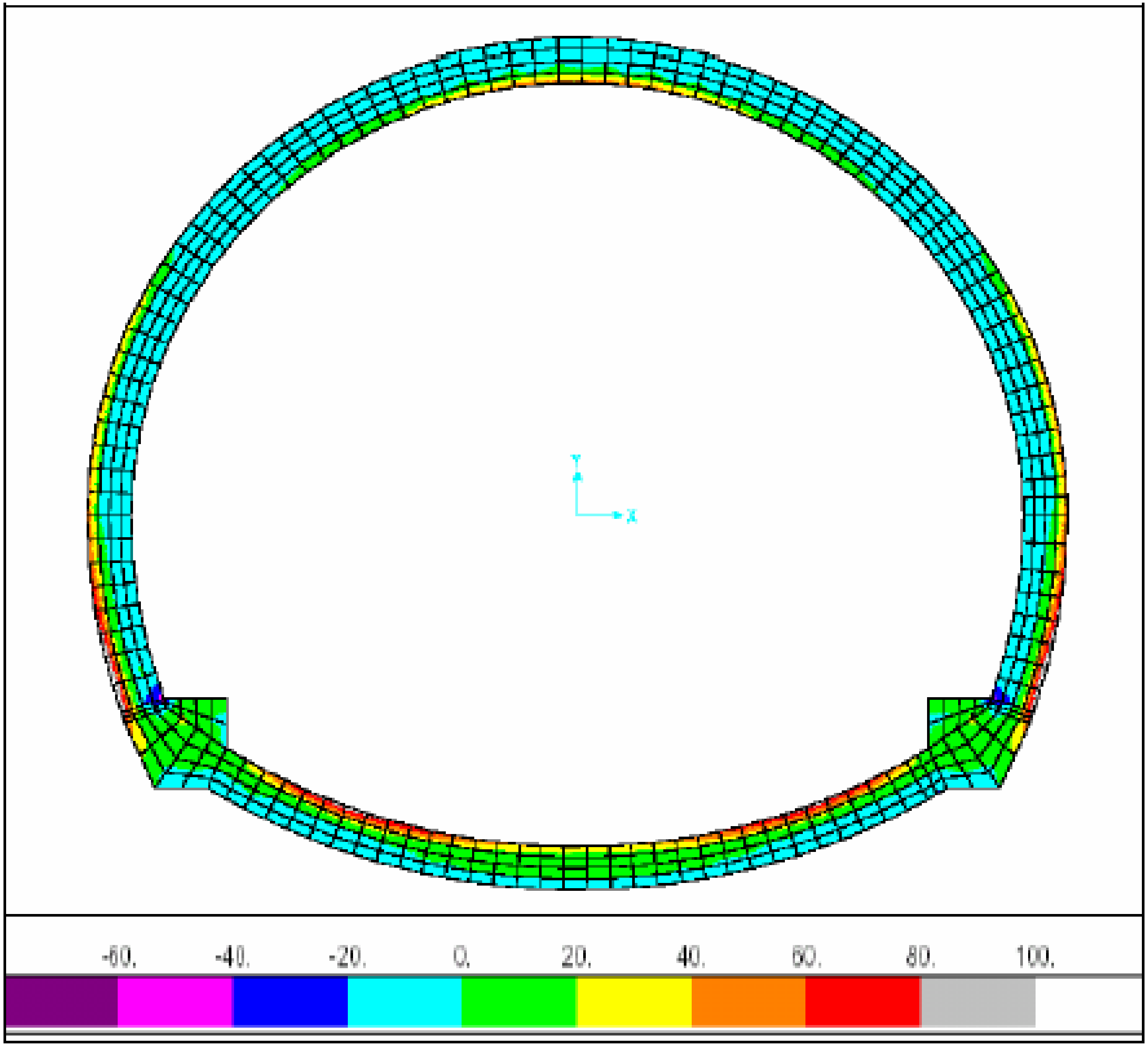
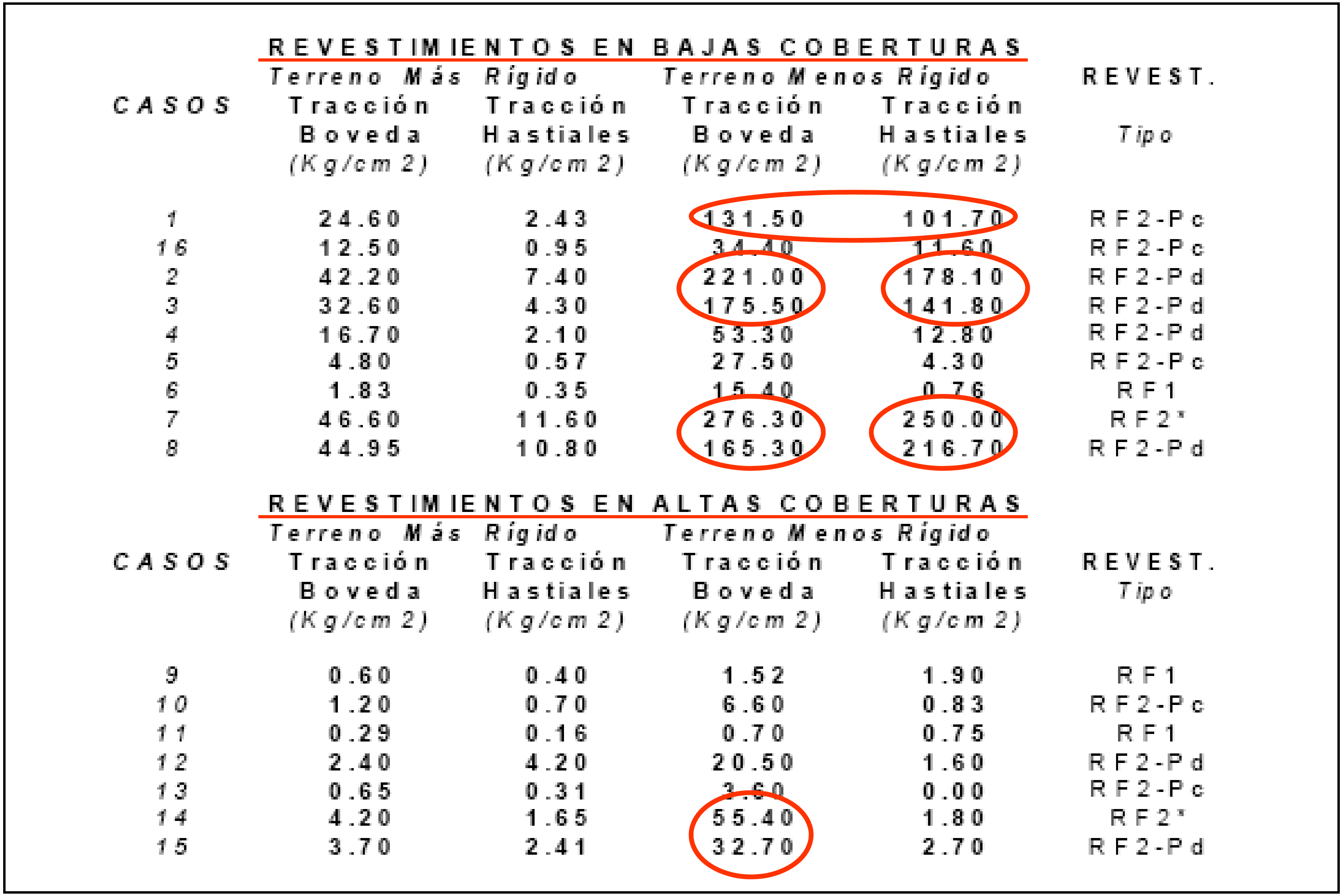


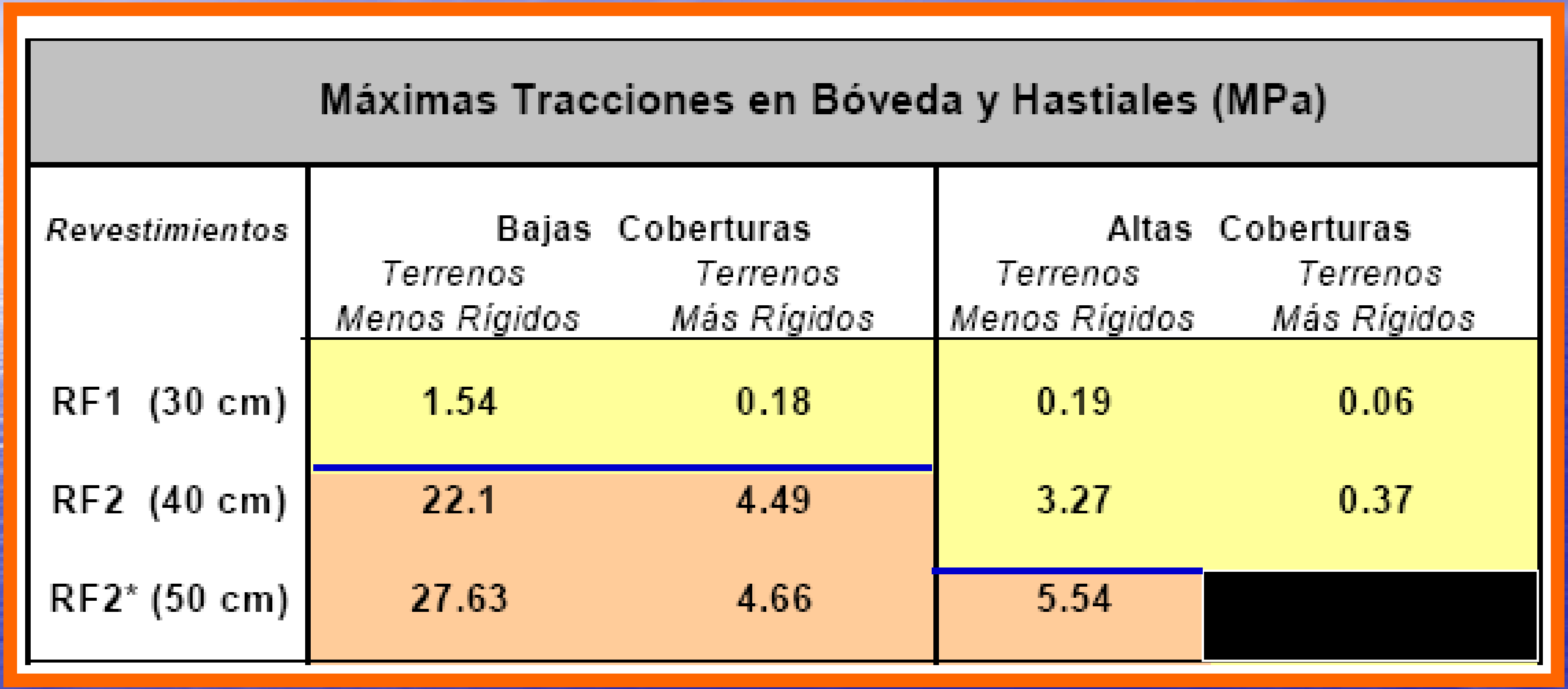
Figura 24 *Ejemplo gráfico de esfuerzos principales máximos en el revestimiento*



CASOS	REVESTIMIENTOS EN BAJAS COBERTURAS Terreno Más Rígido Tracción Boveda (Kg/cm 2)	 Terreno Más Rígido Tracción Hastiales (Kg/cm 2)	 Terreno Menos Rígido Tracción Boveda (Kg/cm 2)	 Terreno Menos Rígido Tracción Hastiales (Kg/cm 2)	REVEST. Tipo
1	24.60	2.43	131.50	101.70	RF2-Pc
16	12.50	0.95	34.40	11.60	RF2-Pc
2	42.20	7.40	221.00	178.10	RF2-Pd
3	32.60	4.30	175.50	141.80	RF2-Pd
4	16.70	2.10	53.30	12.80	RF2-Pd
5	4.80	0.57	27.50	4.30	RF2-Pc
6	1.83	0.35	15.40	0.76	RF1
7	46.60	11.60	276.30	250.00	RF2*
8	44.95	10.80	165.30	216.70	RF2-Pd

CASOS	REVESTIMIENTOS EN ALTAS COBERTURAS Terreno Más Rígido Tracción Boveda (Kg/cm 2)	 Terreno Más Rígido Tracción Hastiales (Kg/cm 2)	 Terreno Menos Rígido Tracción Boveda (Kg/cm 2)	 Terreno Menos Rígido Tracción Hastiales (Kg/cm 2)	REVEST. Tipo
9	0.60	0.40	1.52	1.90	RF1
10	1.20	0.70	6.60	0.83	RF2-Pc
11	0.29	0.16	0.70	0.75	RF1
12	2.40	4.20	20.50	1.60	RF2-Pd
13	0.65	0.31	3.60	0.00	RF2-Pc
14	4.20	1.65	55.40	1.80	RF2*
15	3.70	2.41	32.70	2.70	RF2-Pd

Esfuerzos máximos de tracción en el revestimiento obtenidos de los análisis numéricos



Máximas Tracciones en Bóveda y Hastiales (MPa)

Revestimientos	Bajas Coberturas *Terrenos Menos Rígidos*	Bajas Coberturas *Terrenos Más Rígidos*	Altas Coberturas *Terrenos Menos Rígidos*	Altas Coberturas *Terrenos Más Rígidos*
RF1 (30 cm)	1.54	0.18	0.19	0.06
RF2 (40 cm)	22.1	4.49	3.27	0.37
RF2* (50 cm)	27.63	4.66	5.54	

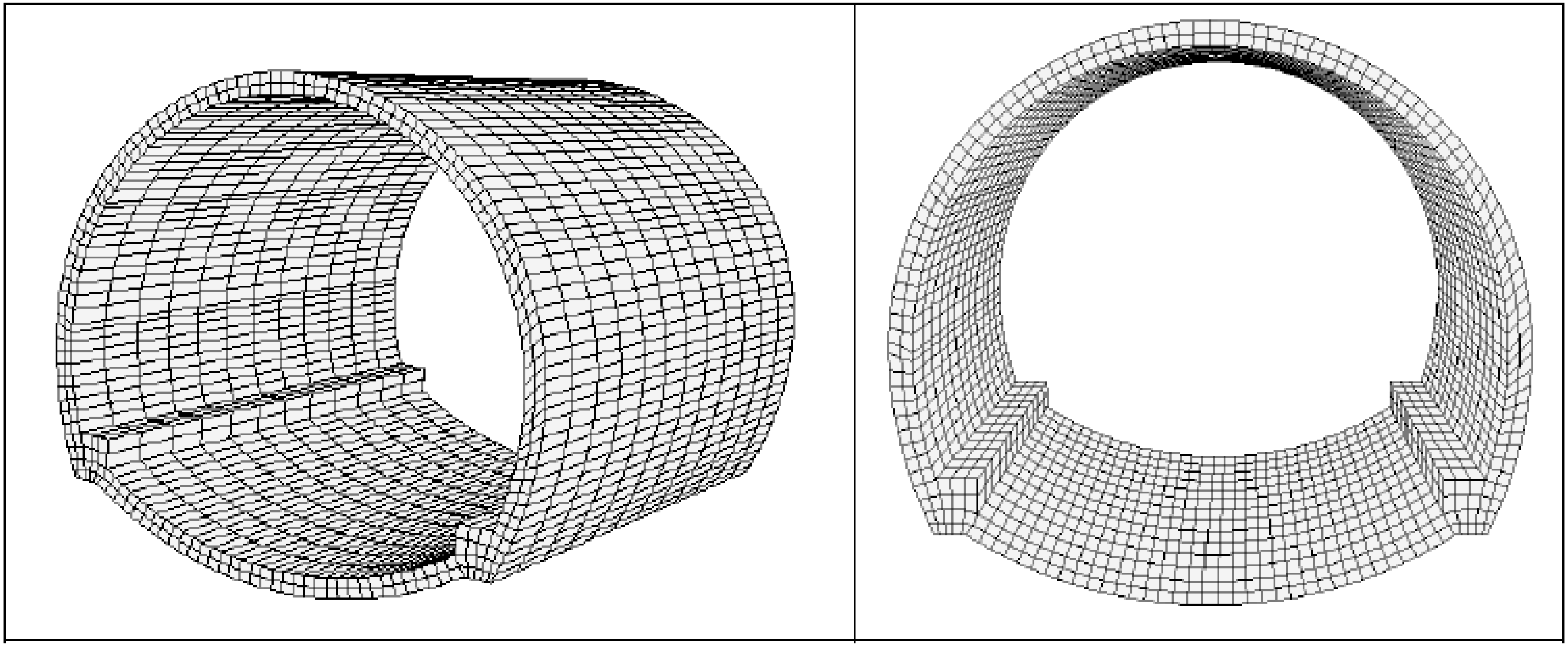


Figura 25 *Mesh tridimensional de 3072 elementos del modelo ABAQUS del revestimiento*

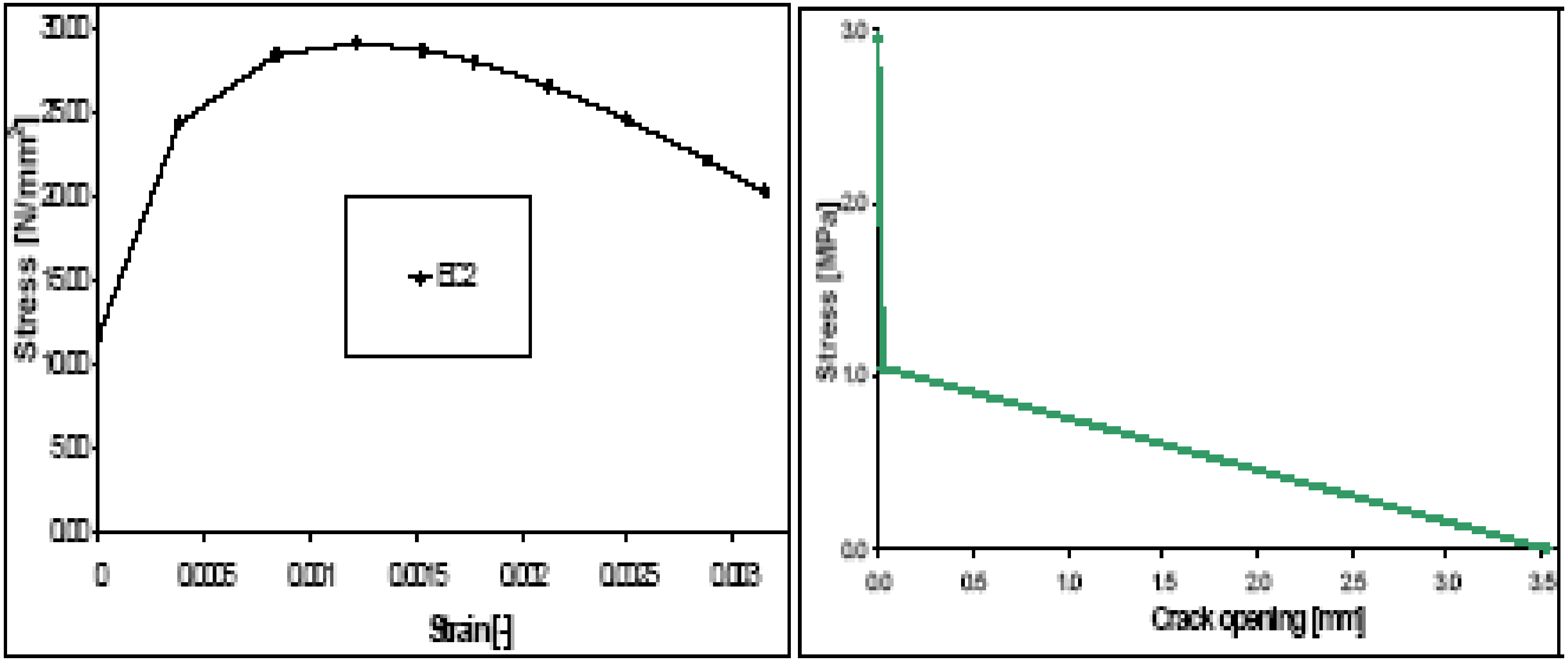
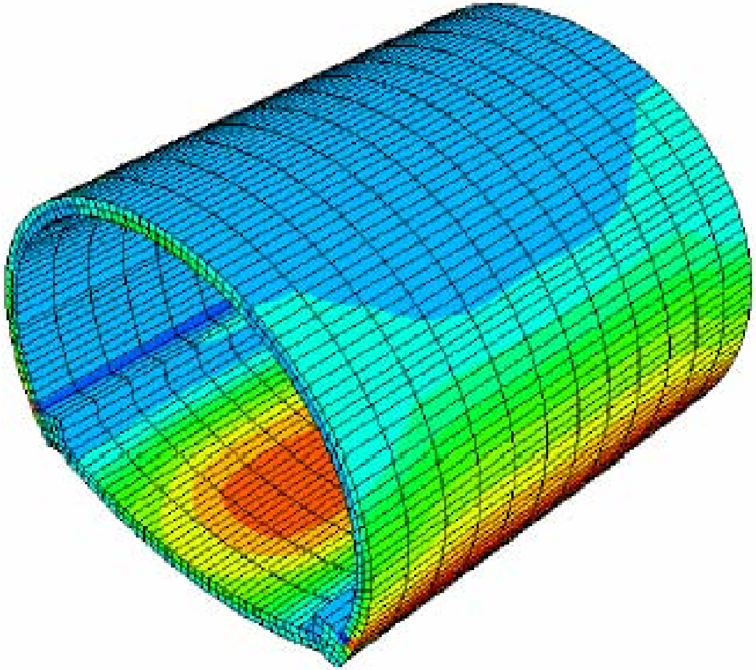
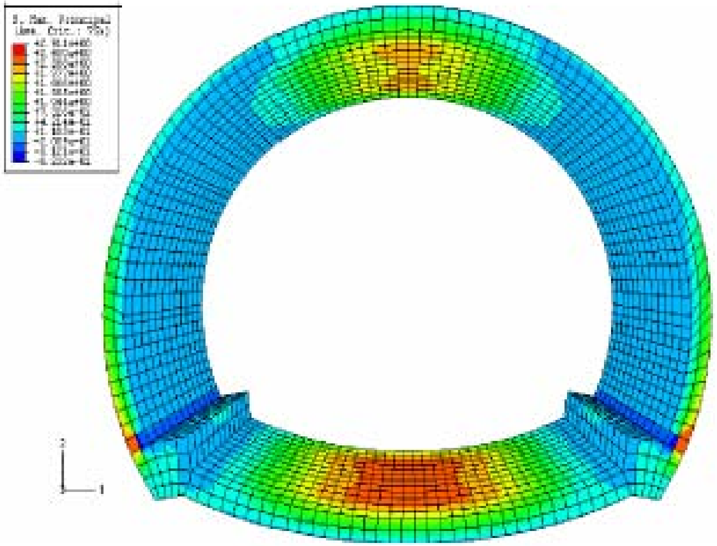


Figura 26 *Comportamientos a compresión y a tracción del concreto fibro-reforzado*



Figuras 28 - 29 *Solicitaciones principales máximas en el revestimiento fibro-reforzado*



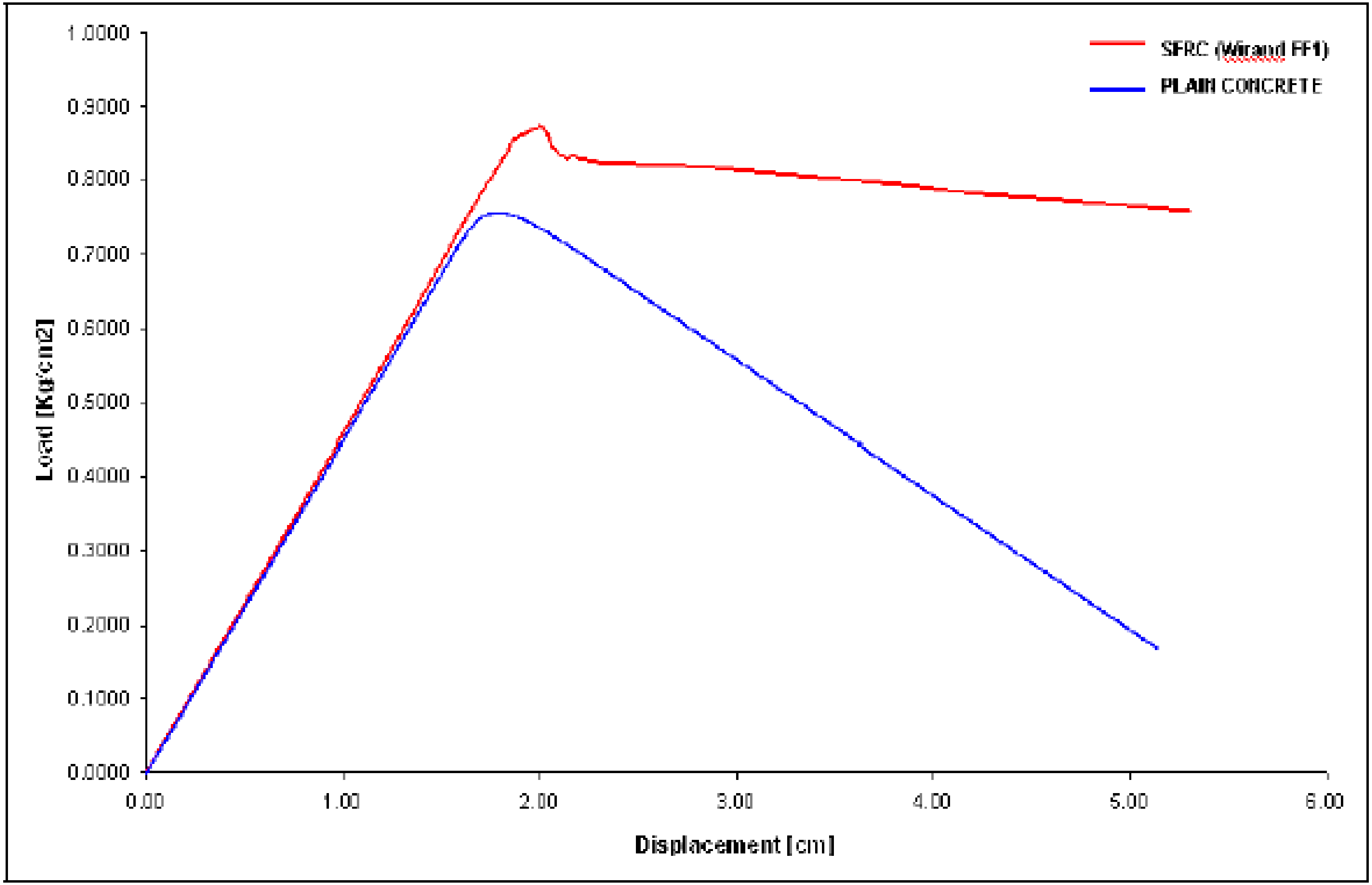
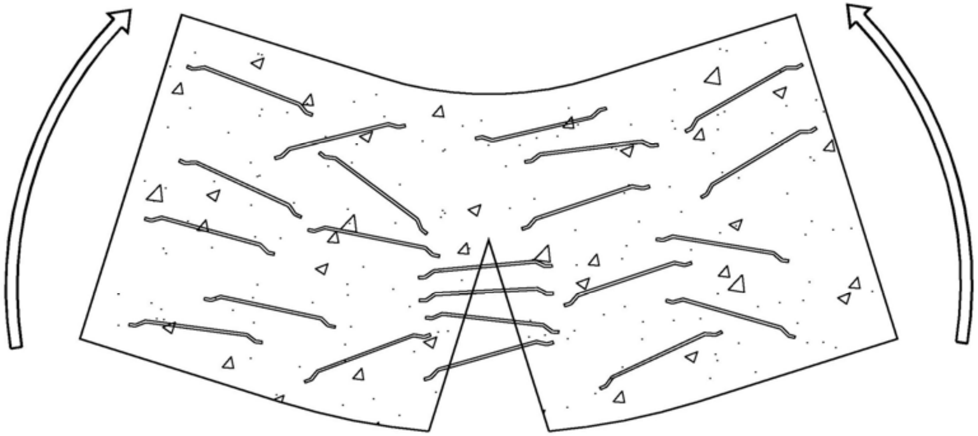
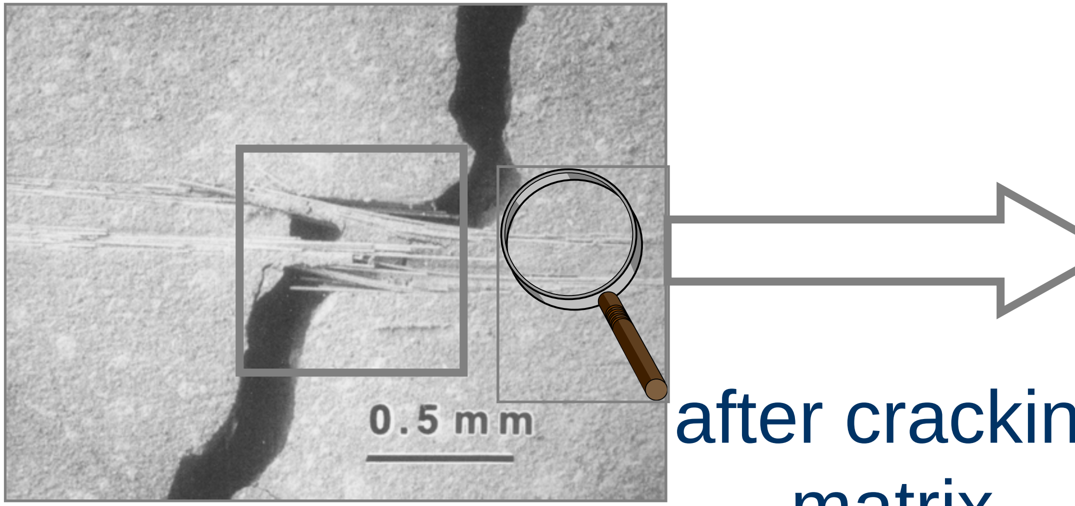


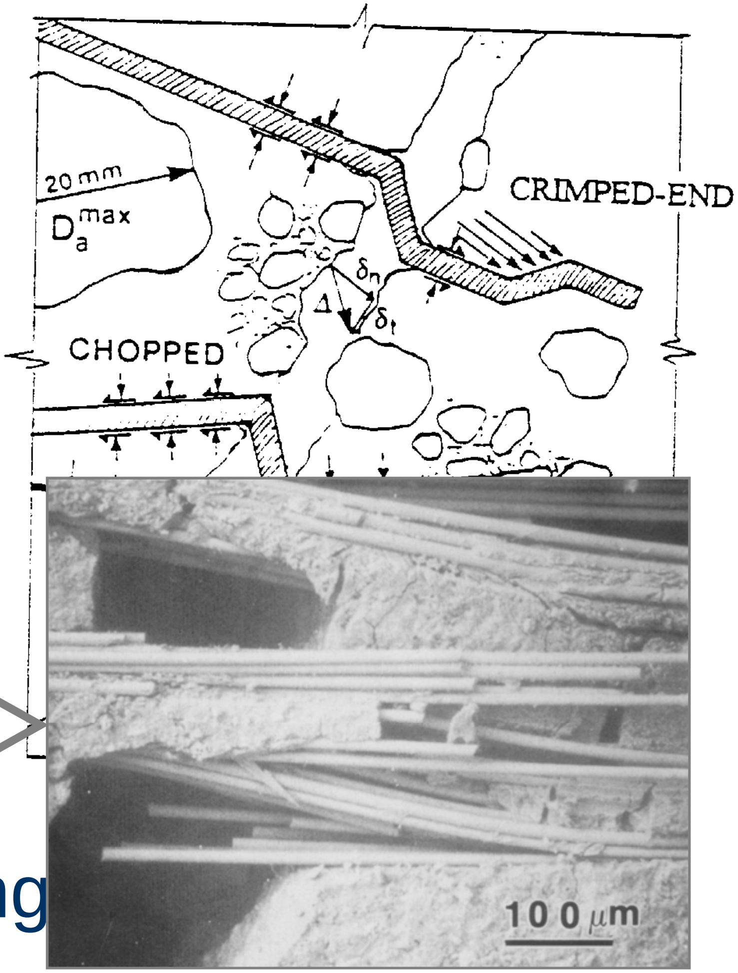
Figura 30 *Presión de bóveda Versus desplazamiento en la clave del revestimiento*

Fracture mechanics of concrete

Fiber effects in concrete

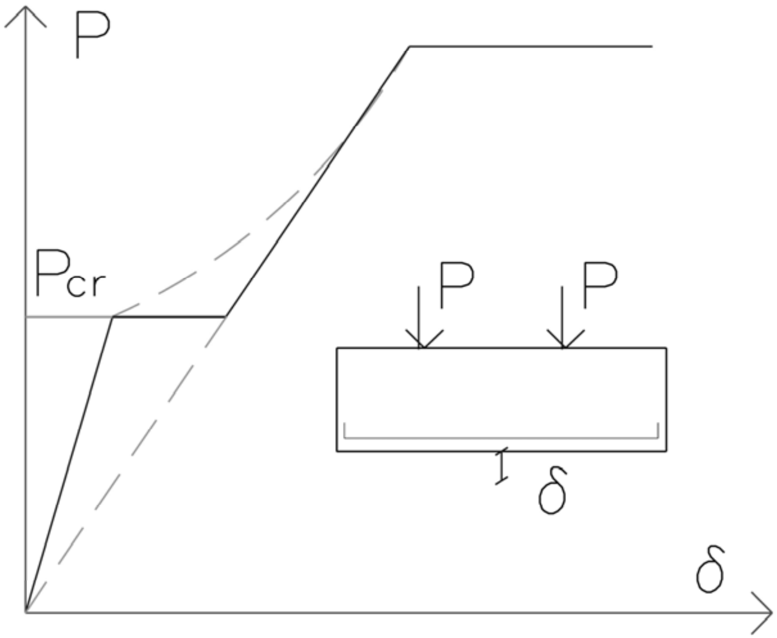




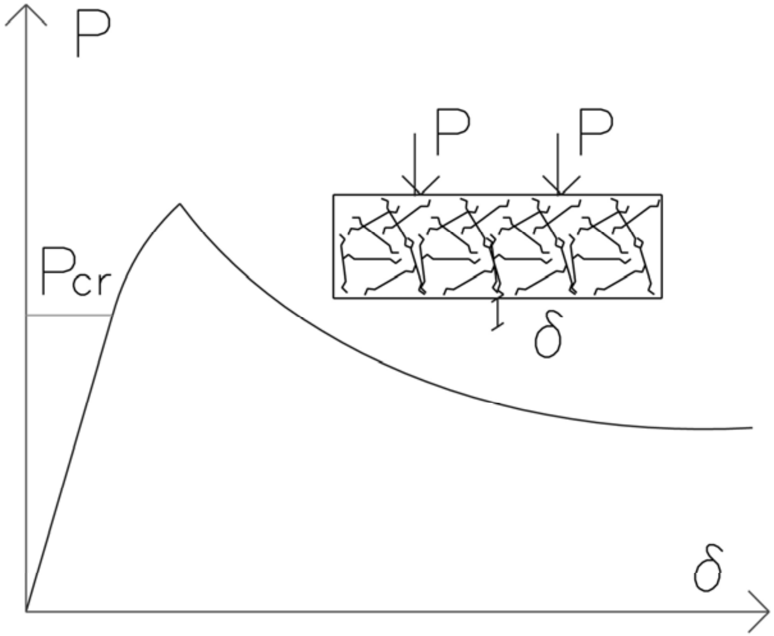


after cracking matrix.

Confronto tra una struttura RC e FRC

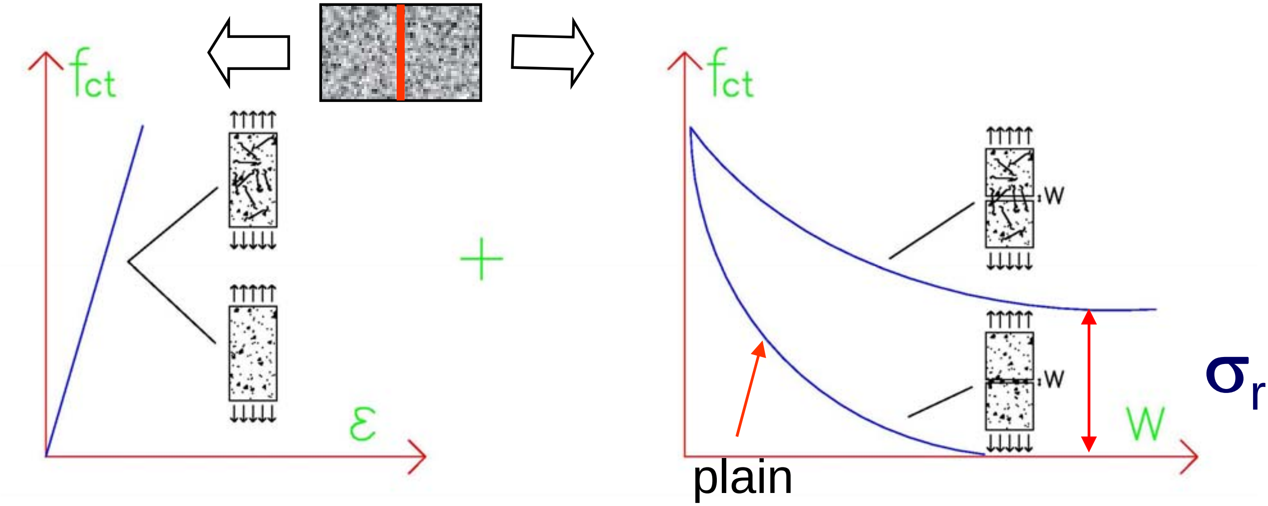


RC



FRC

Overview



Fibre content

$V_f \leq 1\%$

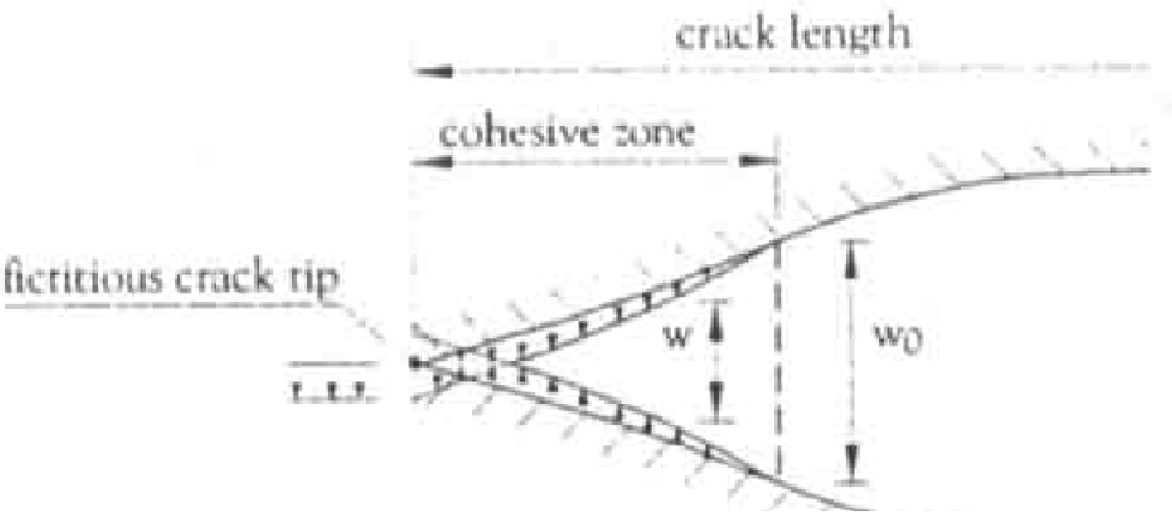
$\sigma_{res}(w)$

Fibre effects in concrete

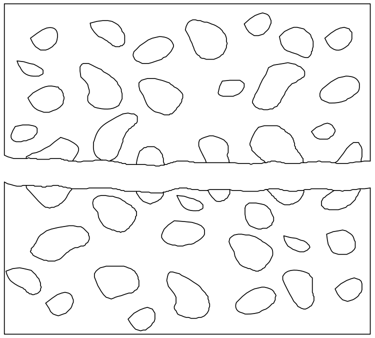
- durability (cracking control)
- anchorage lengths
- deformability (tension stiffening)
- stress limits in P/C elements

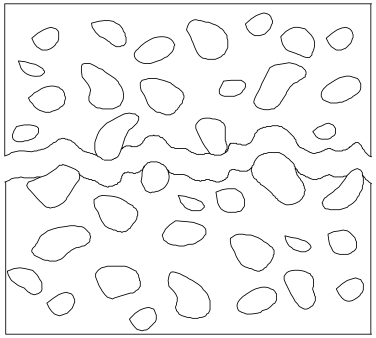
- minimum reinforcements (N, M,V)
- fatigue
- shrinkage
- D regions (spalling, bursting, splitting)

Fracture process in concrete



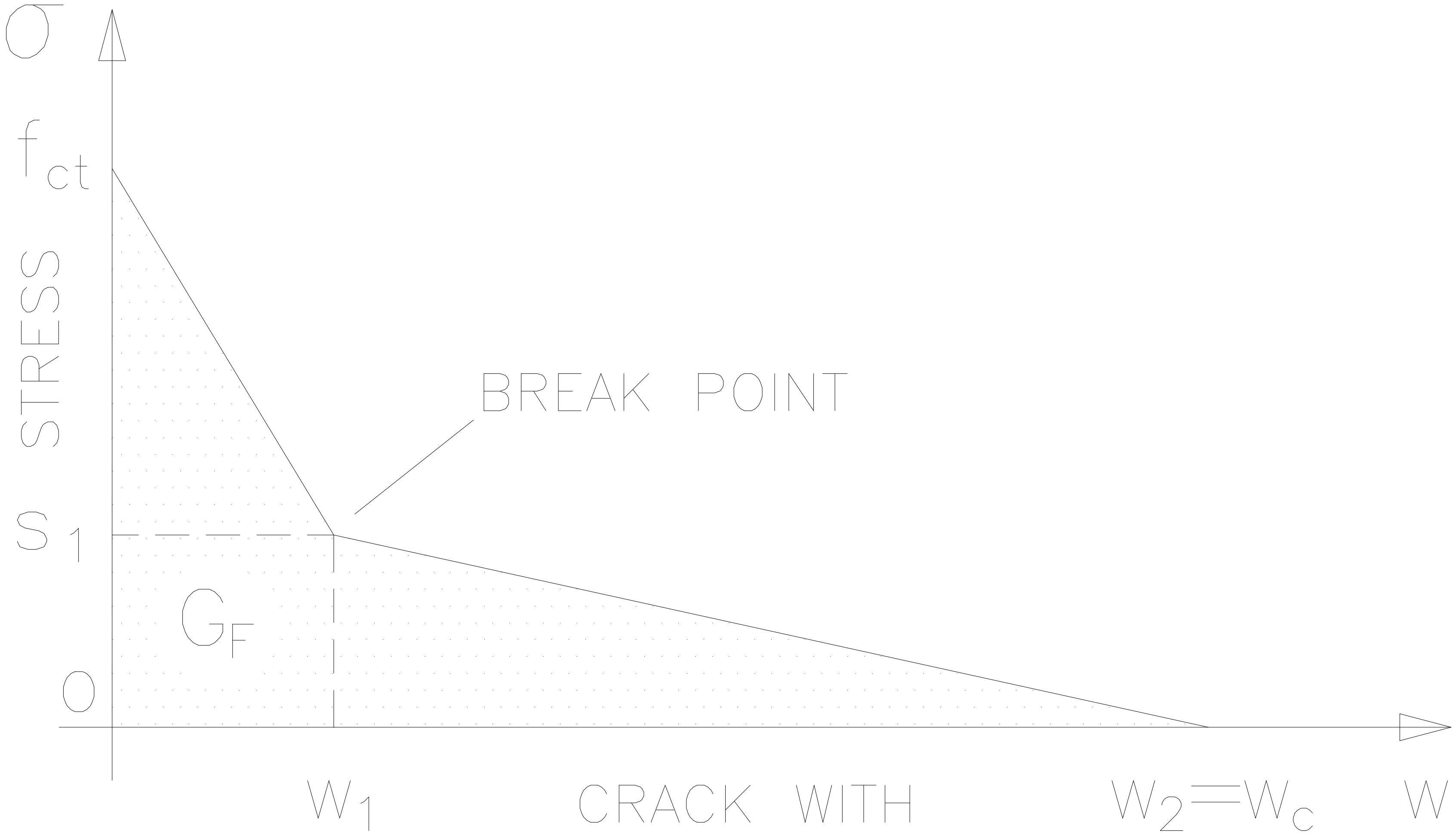
High
Strength
Concrete


a) Fessura di tipo
intragranulare

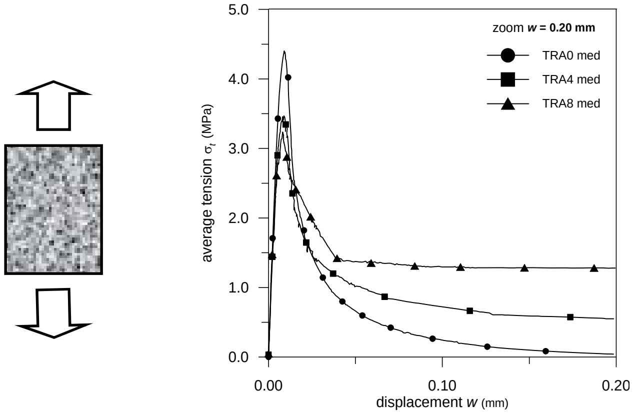

a) Fessura di tipo
intergranulare

Normal
Strength
Concrete

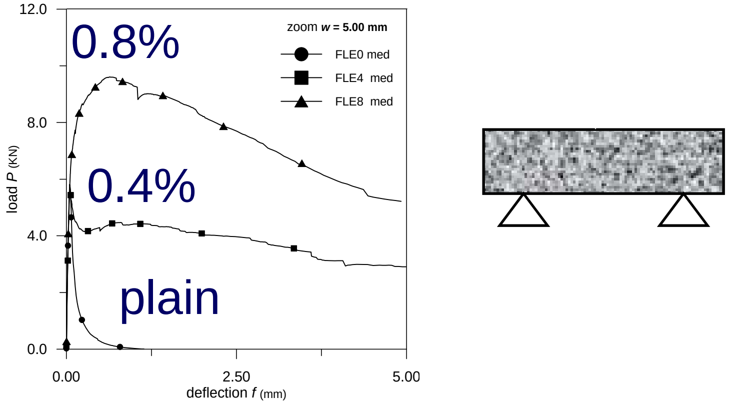
Typical Fibre Response



Material vs Structural response



0.8%
0.4%
plain



statically determined

S.L.S. performance increase

Fibre content

$V_f \leq 1\%$

statically undetermined

stress redistribution

S.L.S. performance increase
+
S.L.U. mechanical contribution

$?\sigma_{exp}(w) \Rightarrow \sigma_d(w \text{ or } \varepsilon)$

Perché le fibre nella prefabbricazione?

- riduzione dello spessore (no limitazioni sul copriferro)
- maggior libertà nella scelta delle geometrie
- si evitano dettagli di armatura complessi
- maggior industrializzazione del processo produttivo (no posizionamento della rete)
- minori controlli sul corretto posizionamento dell’armatura

- messa a punto di un sistema per garantire una corretta lavorabilità dell’impasto
- controllo della dispersione delle fibre
- mancanza di regole di progettazione accettate internazionalmente

Vantaggi dell’uso del SFRC nei conci prefabbricati per gallerie

1) L’SFRC è un materiale tenace, aspetto di notevole importanza in relazione all’effettiva efficacia di alcune scelte progettuali

2) Permette di limitare l’ampiezza delle fessure

3) L’SFRC ha un’elevata resistenza agli urti, che si possono verificare durante i processi di trasporto e assemblaggio dei conci

4) Consente un miglior controllo dei c
porzioni di rivestimento

5) Consente un miglior controllo e me
processo produttivo dei conci

Obiettivi della ricerca

Valutazione delle possibilità di impiego del SFRC in sostituzione parziale o totale dell’armatura tradizionale

SULLA BASE DI:

Analisi numeriche non-lineari condotte sulle seguenti fasi transitorie:

1) Concio singolo con accumulo di sei conci in fase di stoccaggio

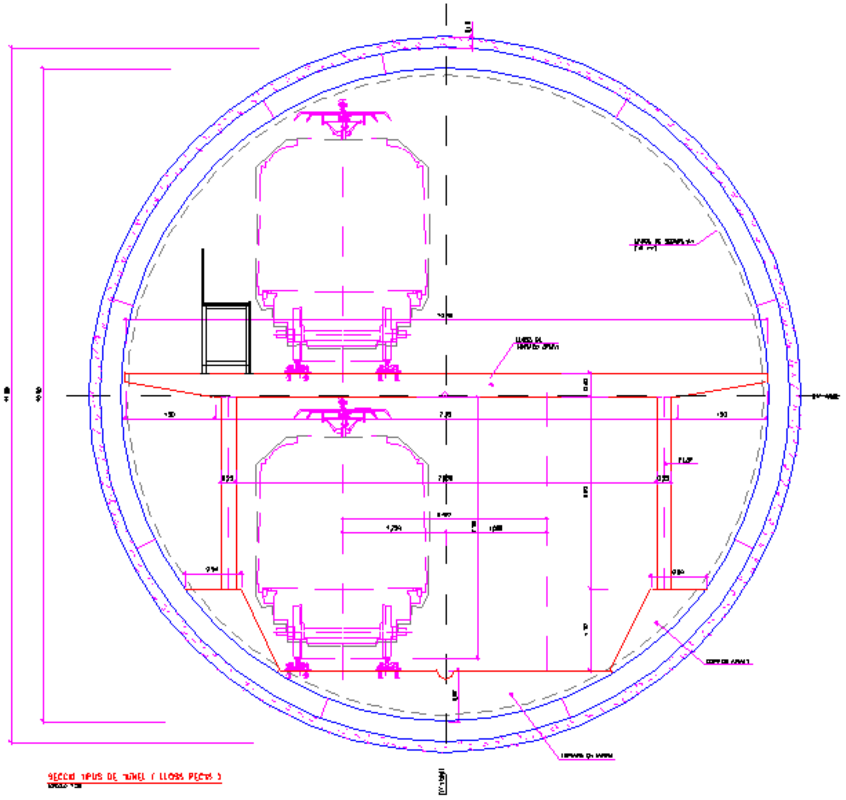
2) Spinta agente sull’anello di rivestimento per effetto dell’avanzamento dello scudo della TBM

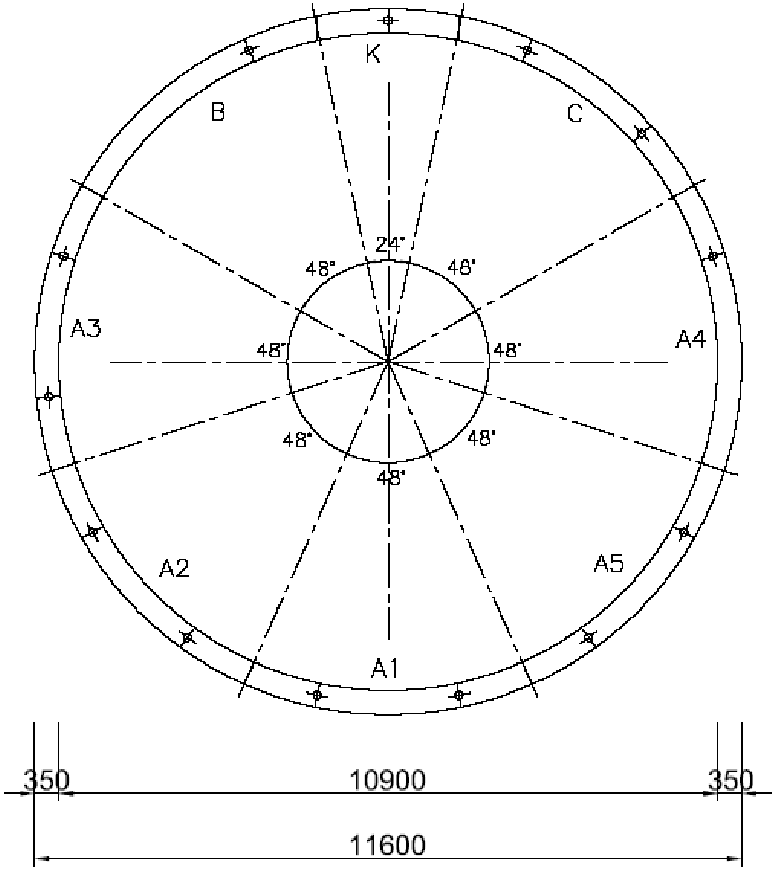
Sommario

- Problematiche e metodi di realizzazione dei tunnels in terreno
- Individuazione delle proprietà degli SFRC impiegati
- Validazione del modello numerico tramite le prove sperimentali svolte sulle stesse tipologie di conci
- Analisi numeriche delle fasi transitorie considerate
- Valutazione dell'armatura minima tradizionale da combinare al SFRC

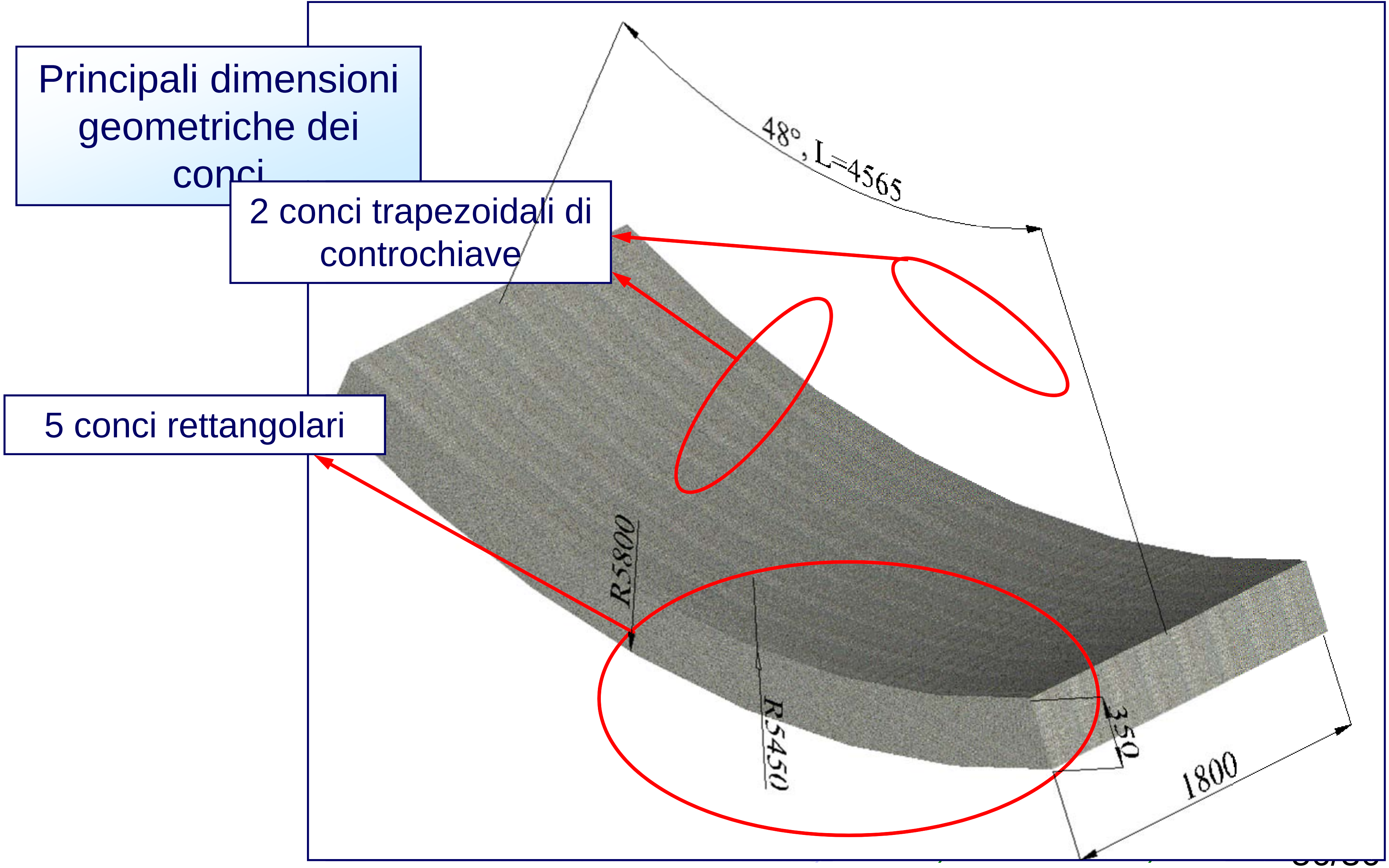
Linea 9 della metropolitana di Barcellona

Sezione del tunnel





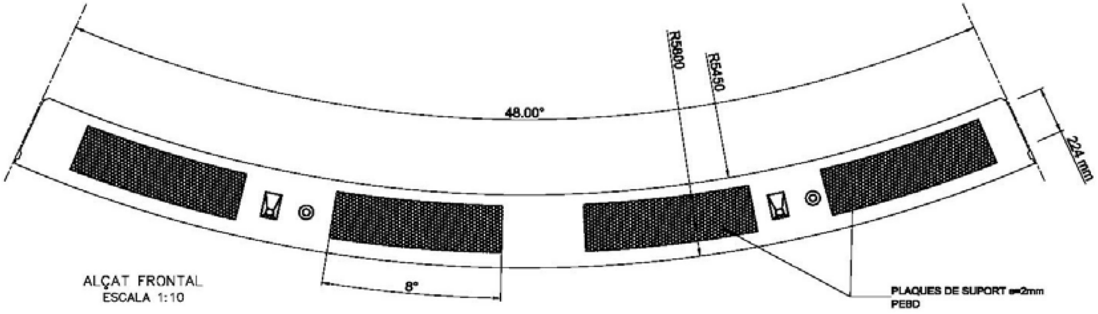
Tipologia di conci prefabbricati analizzata


Principali dimensioni geometriche dei conci

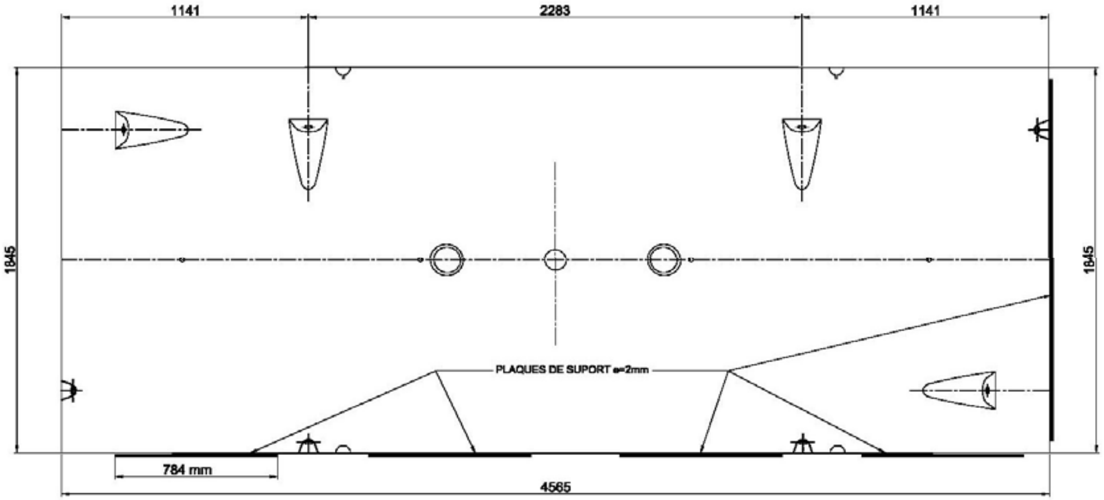
2 conci trapezoidali di controchiave

5 conci rettangolari

Tipologia di conci prefabbricati analizzata



ALÇAT FRONTAL
ESCALA 1:10



PLANTA DESENVOLUPADA PER INTRADÓS
ESCALA 1:10

Caratteristiche delle fibre di acciaio

La matrice cementizia di tutti i provini è C50/60

Si sono adottate due tipologie di fibre:

Wirand FF1

Shape	hooked
Ultimate tensile strength [MPa]	1100
Modulus of elasticity [MPa]	210000
Cross Section	circular
Length [mm]	50
Diameter [mm]	1
Aspect Ratio	50

Dosaggio

- 35 kg/m³
- 45 kg/m³

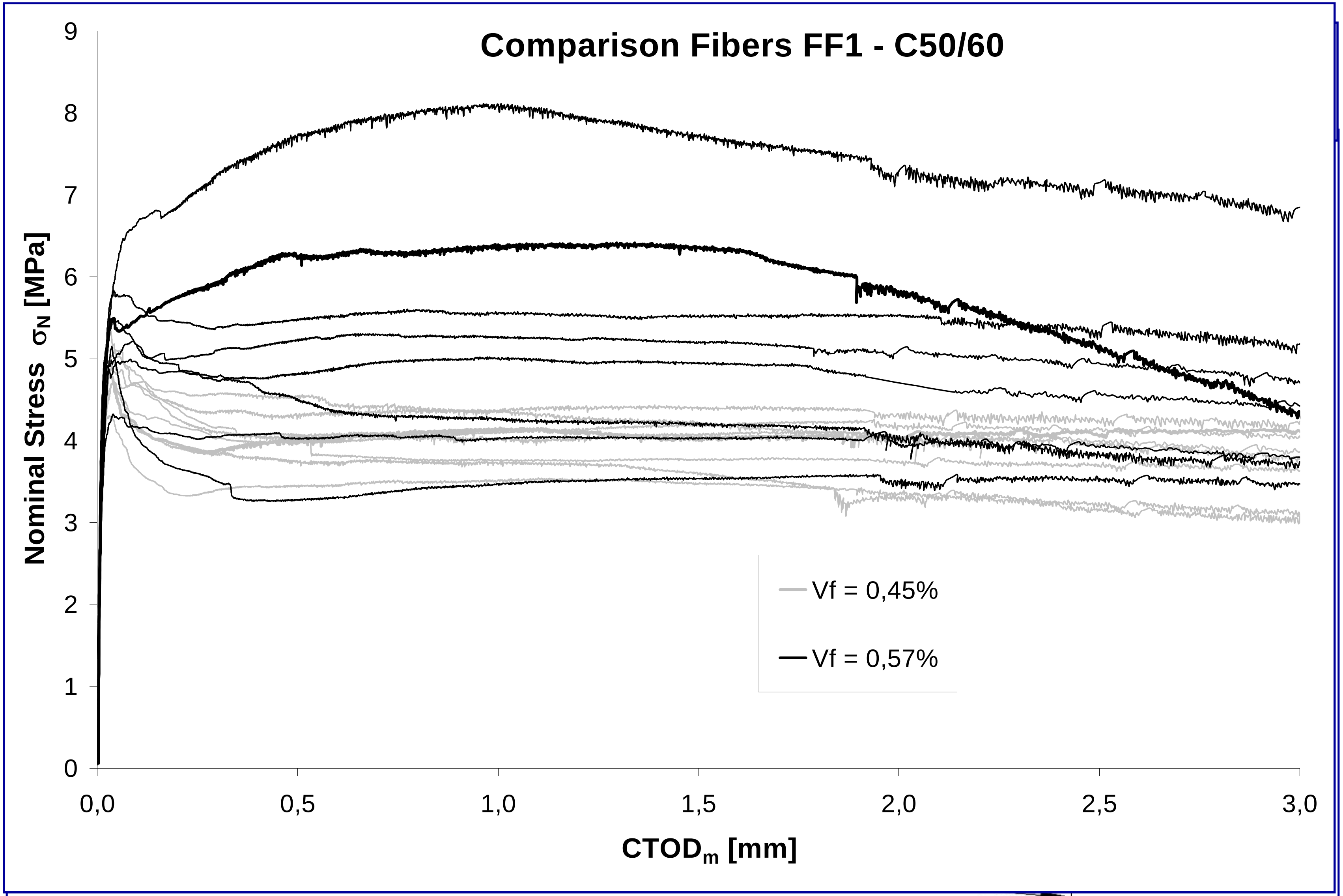
Wirand FF3

Shape	hooked
Ultimate tensile strength [MPa]	1100
Modulus of elasticity [MPa]	210000
Cross Section	circular
Length [mm]	50
Diameter [mm]	0,75
Aspect Ratio	67

Dosaggio

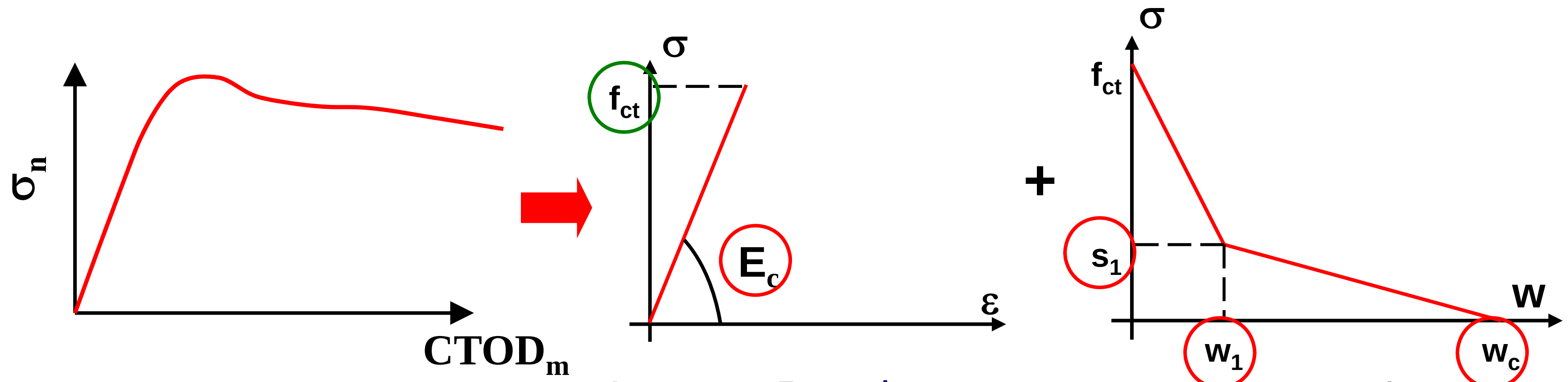
- 25 kg/m³
- 35 kg/m³

Caratterizzazione sperimentale del materiale



Determinazione del legame σ-w

Dalle curve sperimentali σ_n-$CTOD_m$



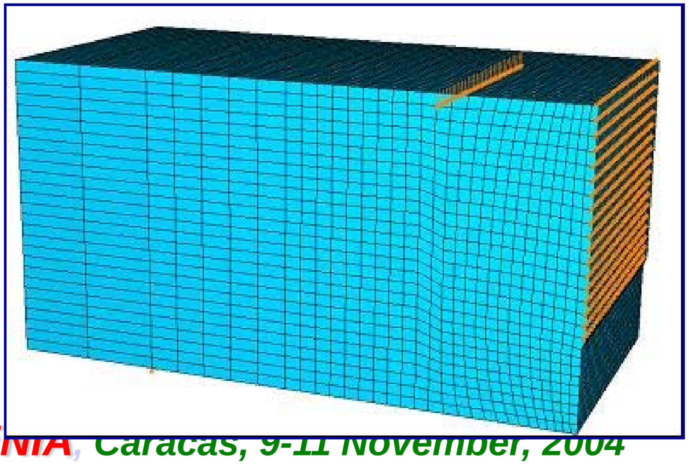
Legame Pre-picco, σ-ε

Legame Post-picco, σ-w

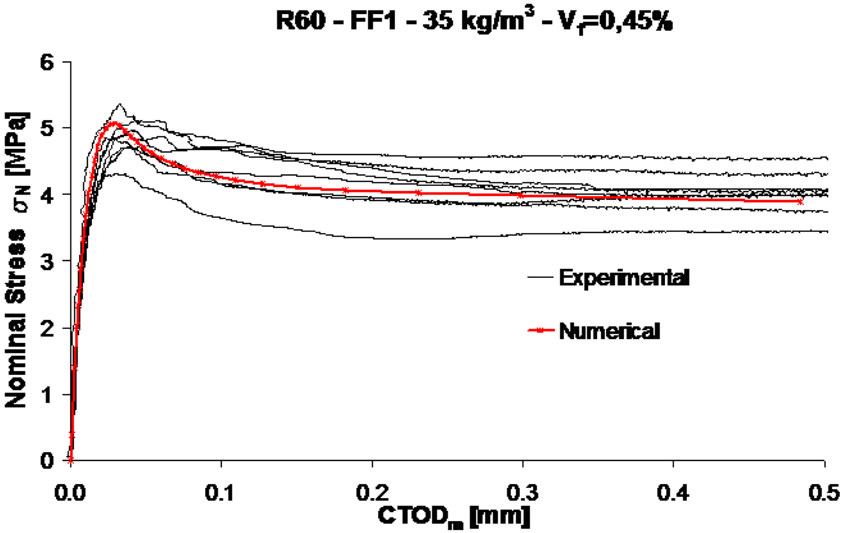
○ Dalle prove sperimentali

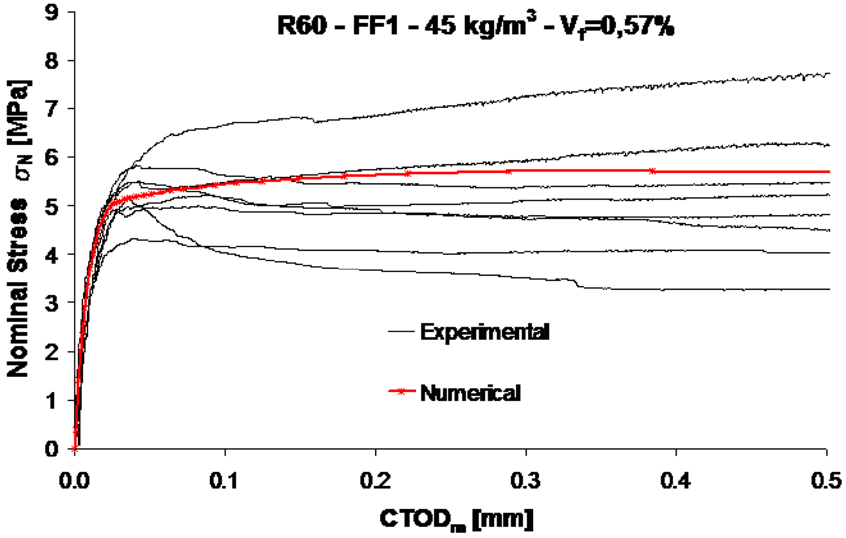
○ Analisi inverse

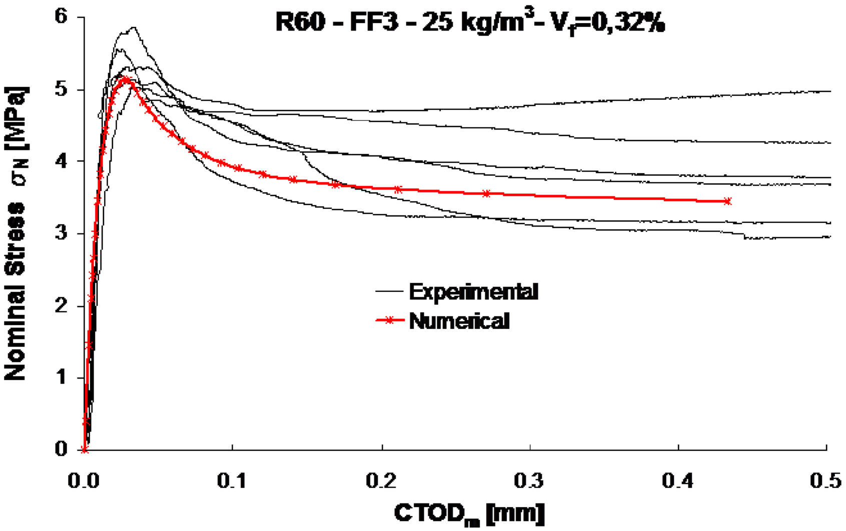
Le analisi numeriche sono state svolte con il programma Abaqus

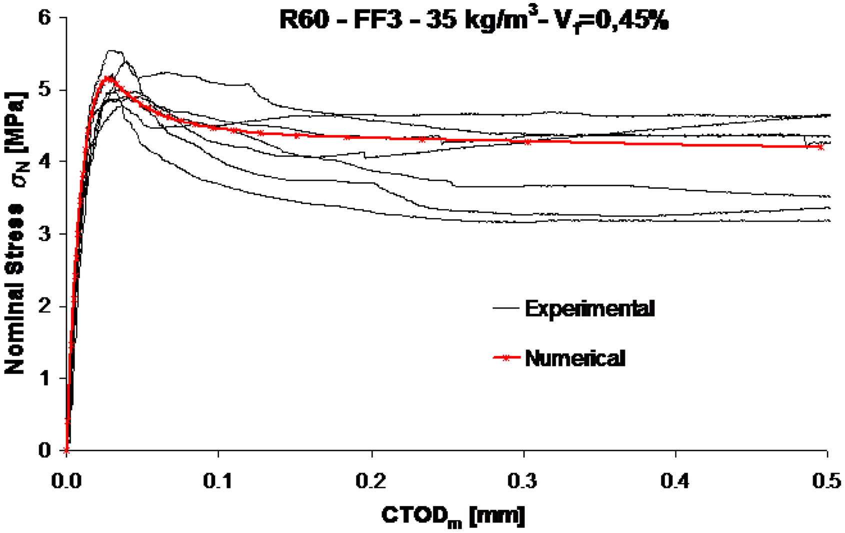


Confronto numerico-sperimentale





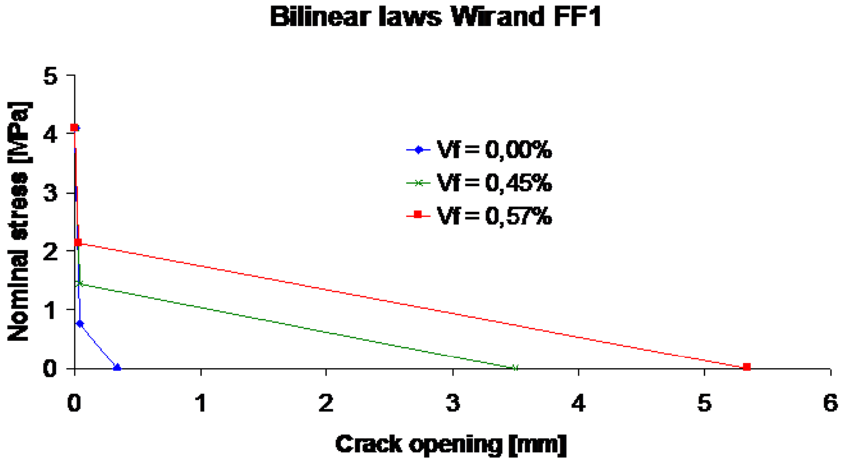


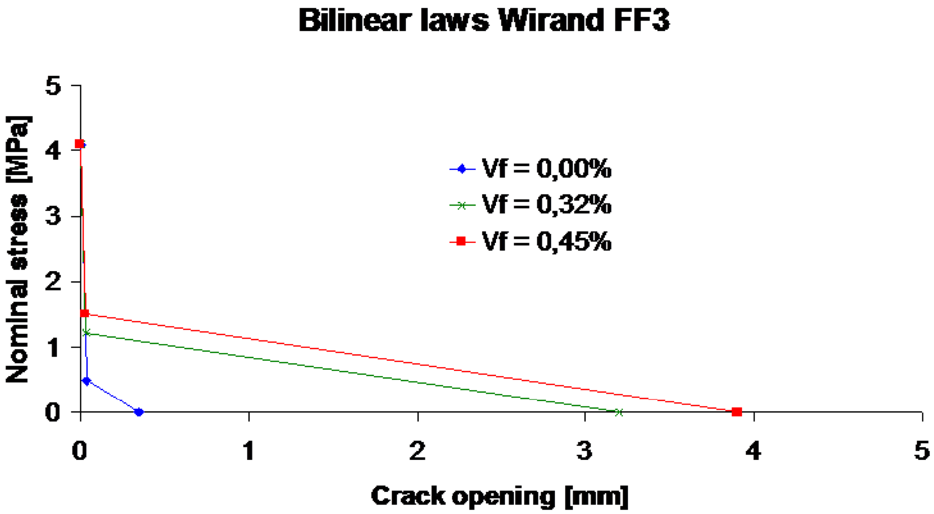


Legami σ-w

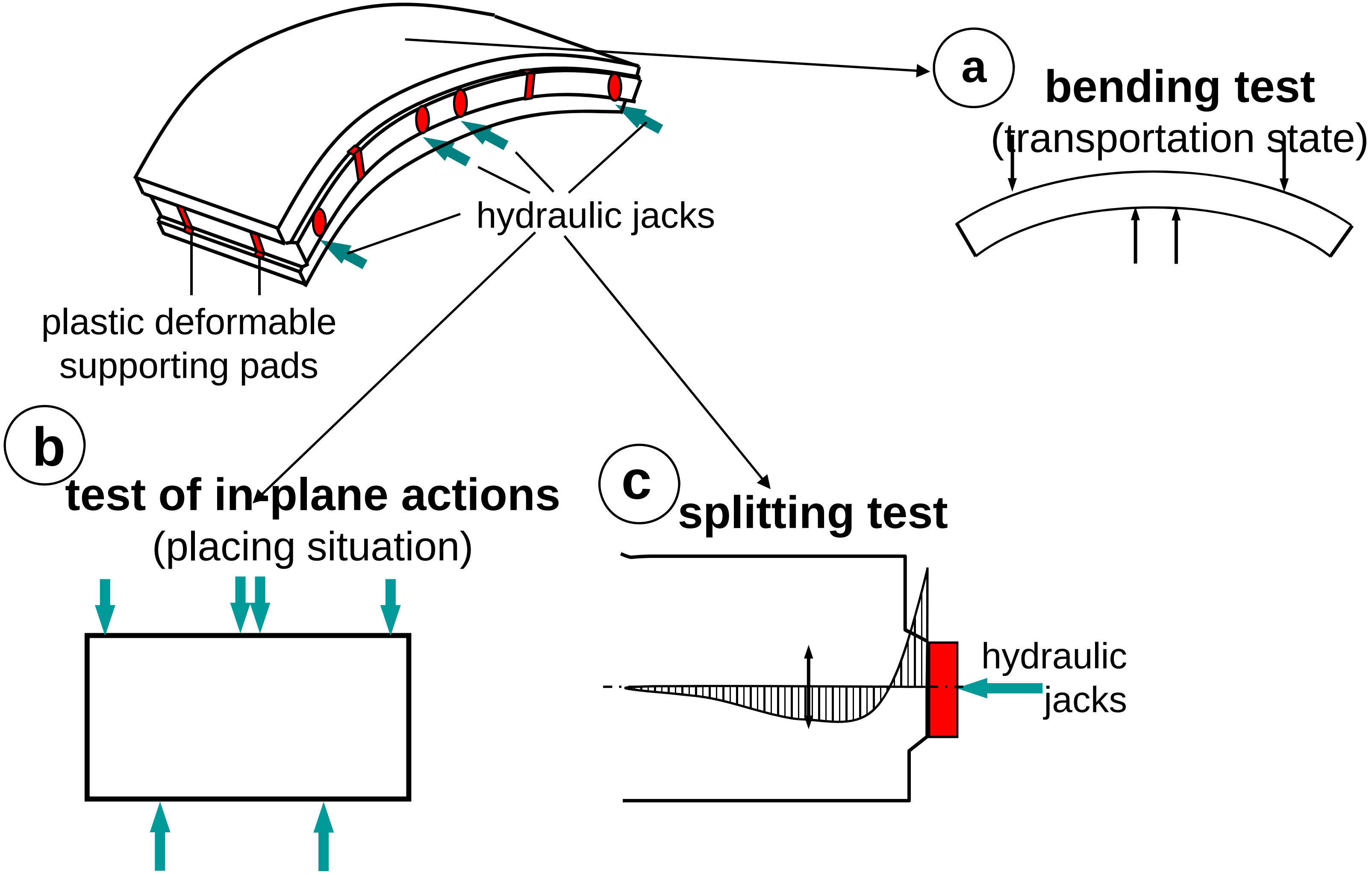
Wirand FF1

Wirand FF3





Condizioni di carico principali sui conci



hydraulic jacks

plastic deformable
supporting pads

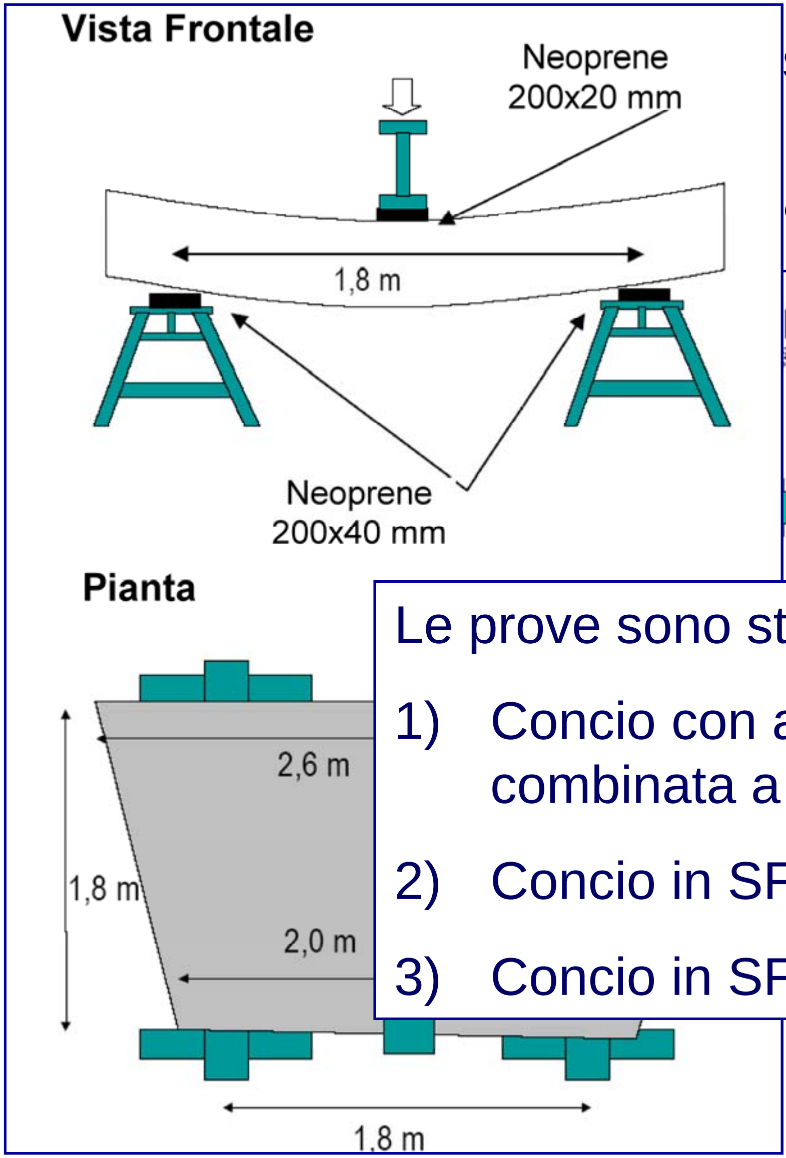
a **bending test**
(transportation state)

b **test of in-plane actions**
(placing situation)

c **splitting test**

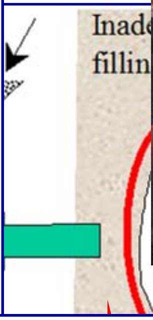
hydraulic
jacks

Validazione del modello numerico



sità Po

ano la



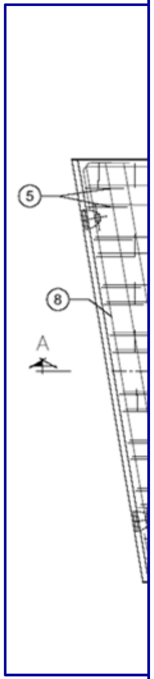
Le prove sono state svolte:

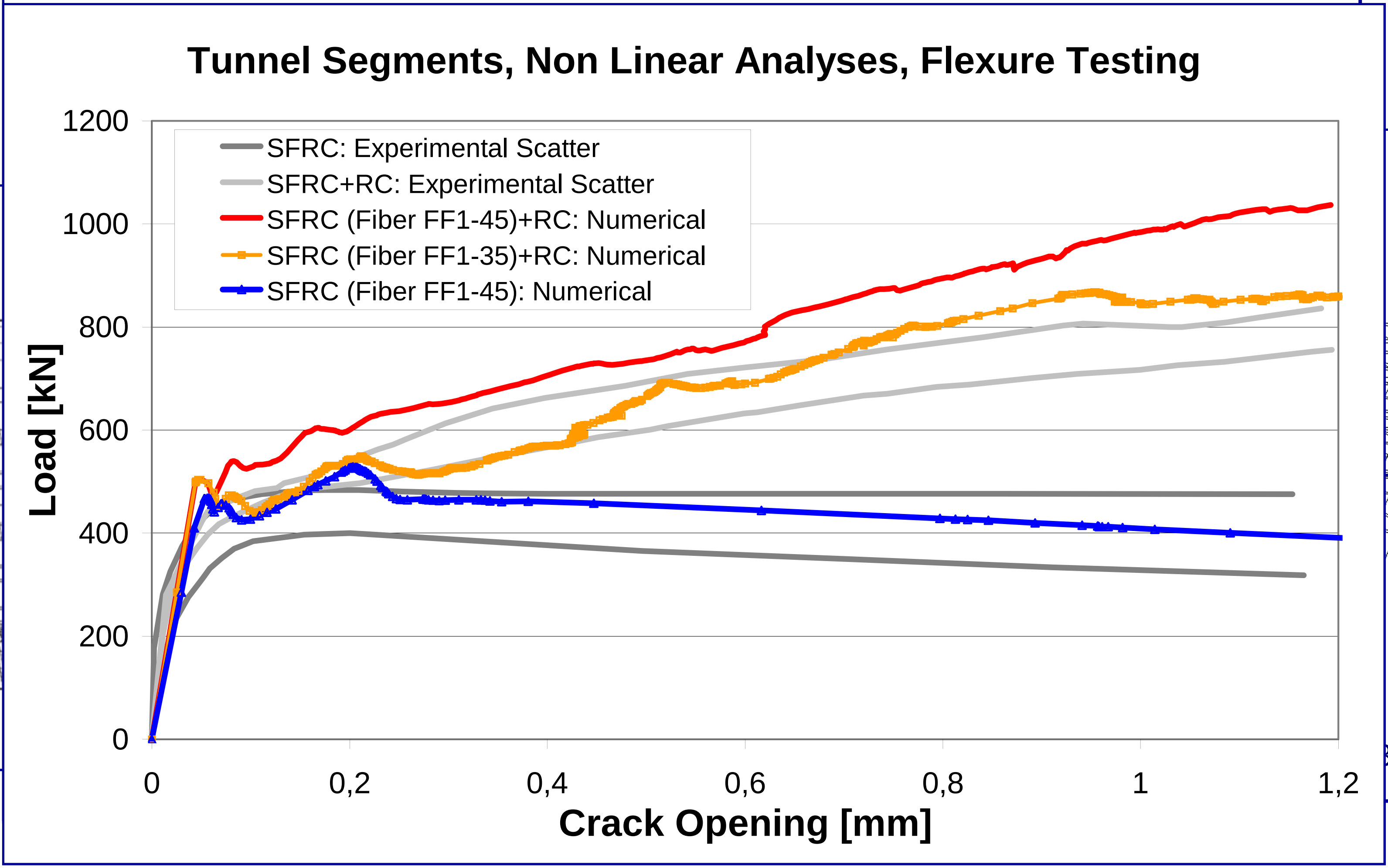
1) Concio con armatura tradizionale (RC) combinata a 30 kg/m^3 di fibre di acciaio

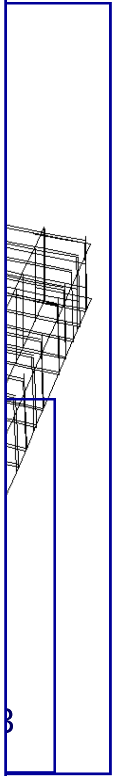
2) Concio in SFRC, dosaggio di 45 kg/m^3

3) Concio in SFRC, dosaggio di 60 kg/m^3

Modellazione numerica e confronto dei risultati







Fase di spinta

Nella fase di spinta l'anello di rivestimento assemblato deve garantire l'appoggio longitudinale per l'avanzamento della escavatrice, TBM

Si è analizzato un singolo co

Anello di conci

Si è assunto che l'appoggio dietro al concio sia uniforme

Si sono posizionate delle molle monolatere a compressione che simulano la deformabilità assiale degli anelli retrostanti

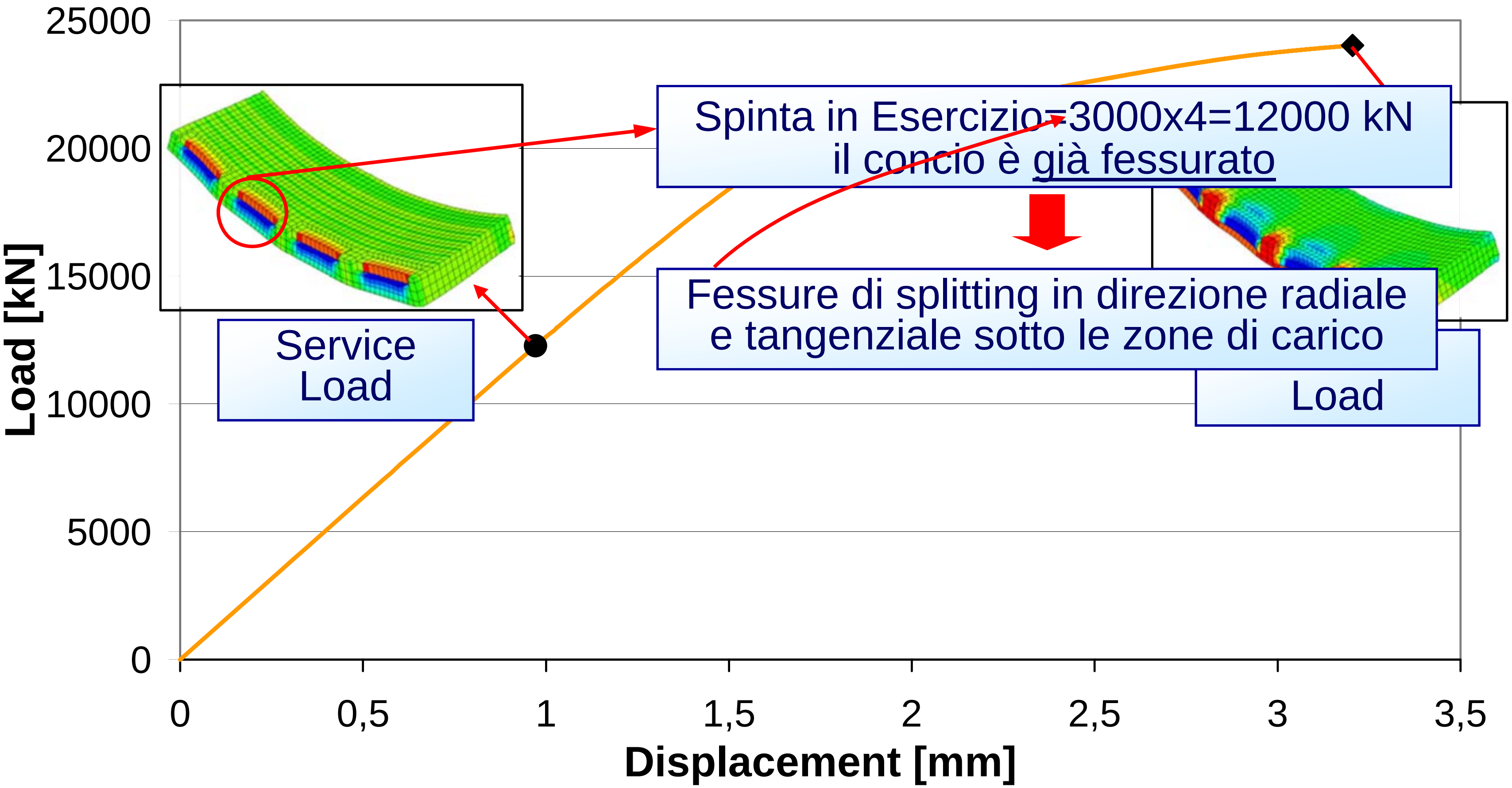
Direzione di scavo

I quattro martinetti agiscono tramite delle piastre d'acciaio

Si è modellata la spinta come pressione uniforme su 4 regioni

Simulazioni numeriche

Tunnel Segments: Non Linear Analyses, Fiber FF1-45



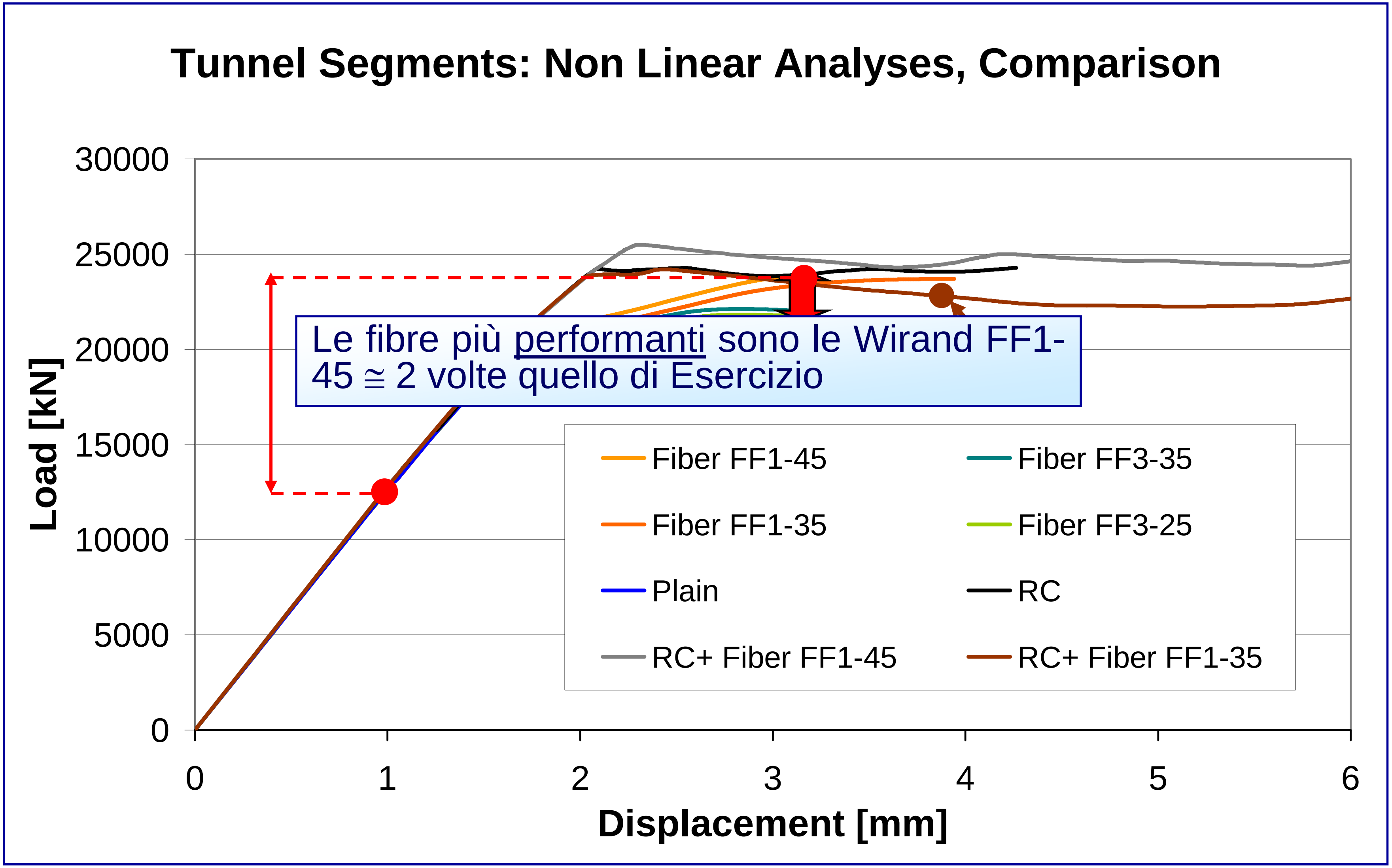
Service Load

Load

Spinta in Esercizio=3000x4=12000 kN
il concio è già fessurato

Fessure di splitting in direzione radiale
e tangenziale sotto le zone di carico

Risultati delle analisi numeriche

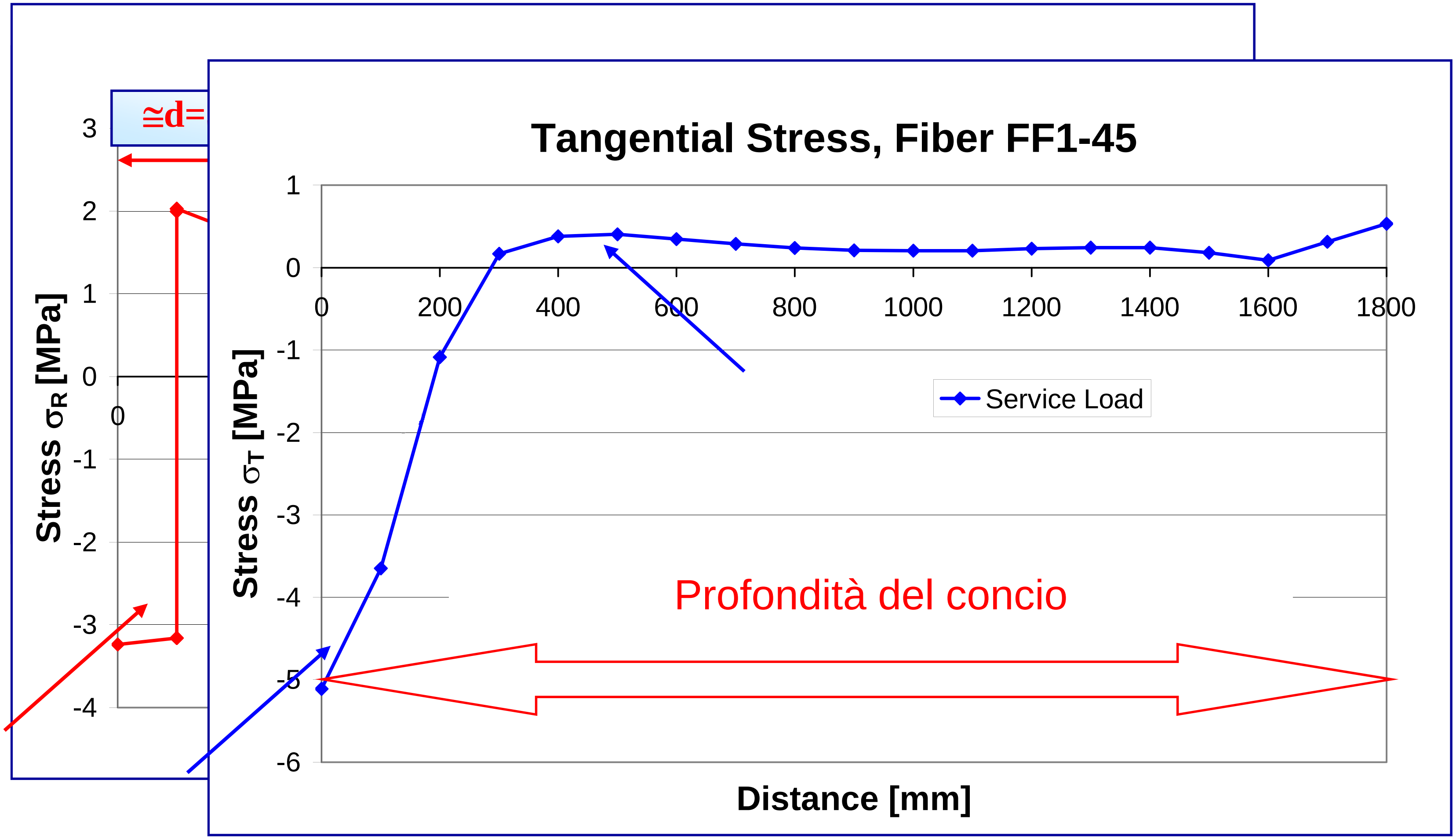


Tunnel Segments: Non Linear Analyses, Comparison

Le fibre più <u>performanti</u> sono le Wirand FF1-45 ≅ 2 volte quello di Esercizio

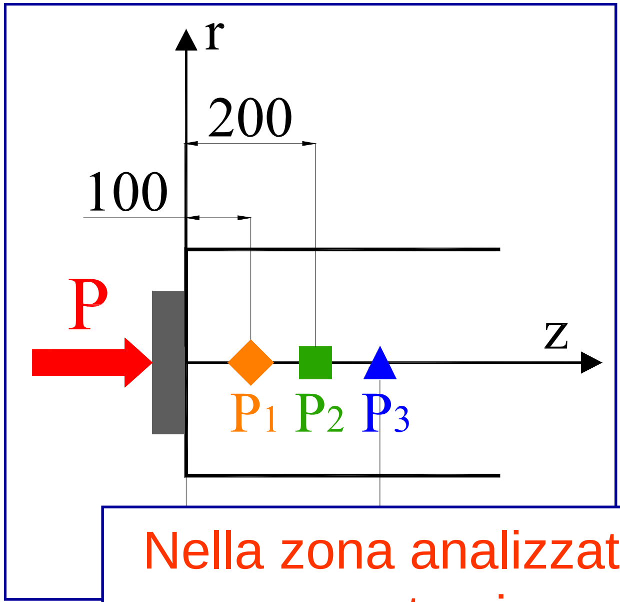
Comportamento nelle zone di carico

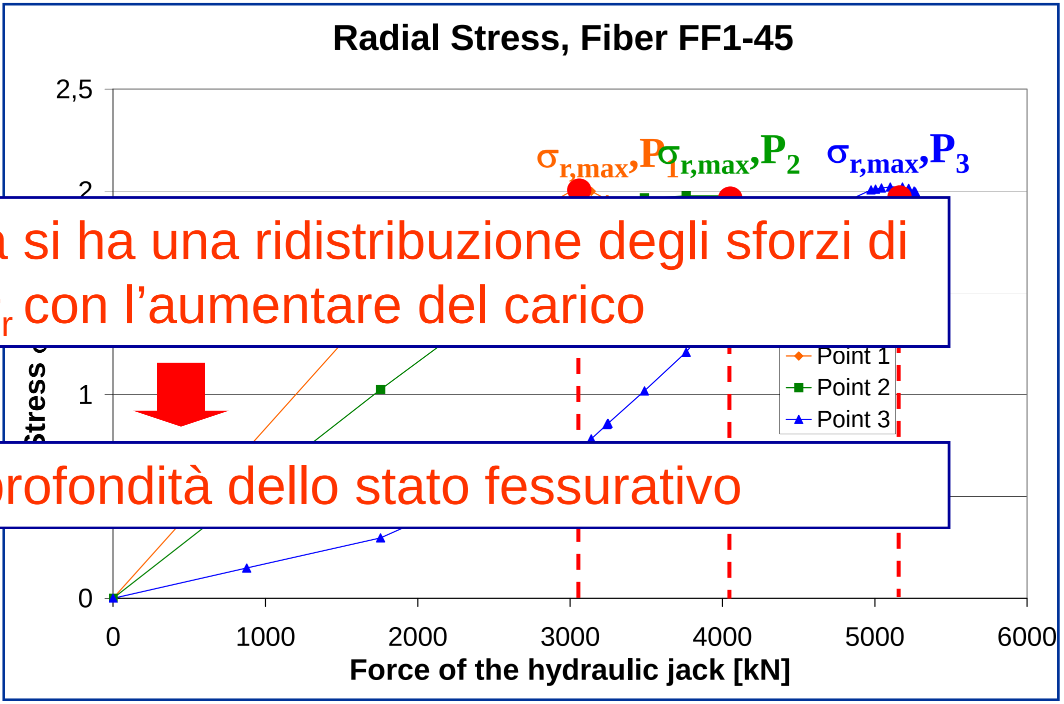
Al di sotto delle zone di carico si riscontra un comportamento analogo a quello tipico di lastra caricata da un carico concentrato.



Distribuzione degli sforzi radiali

Si sono considerati 3 punti di interesse al di sotto delle zone di carico



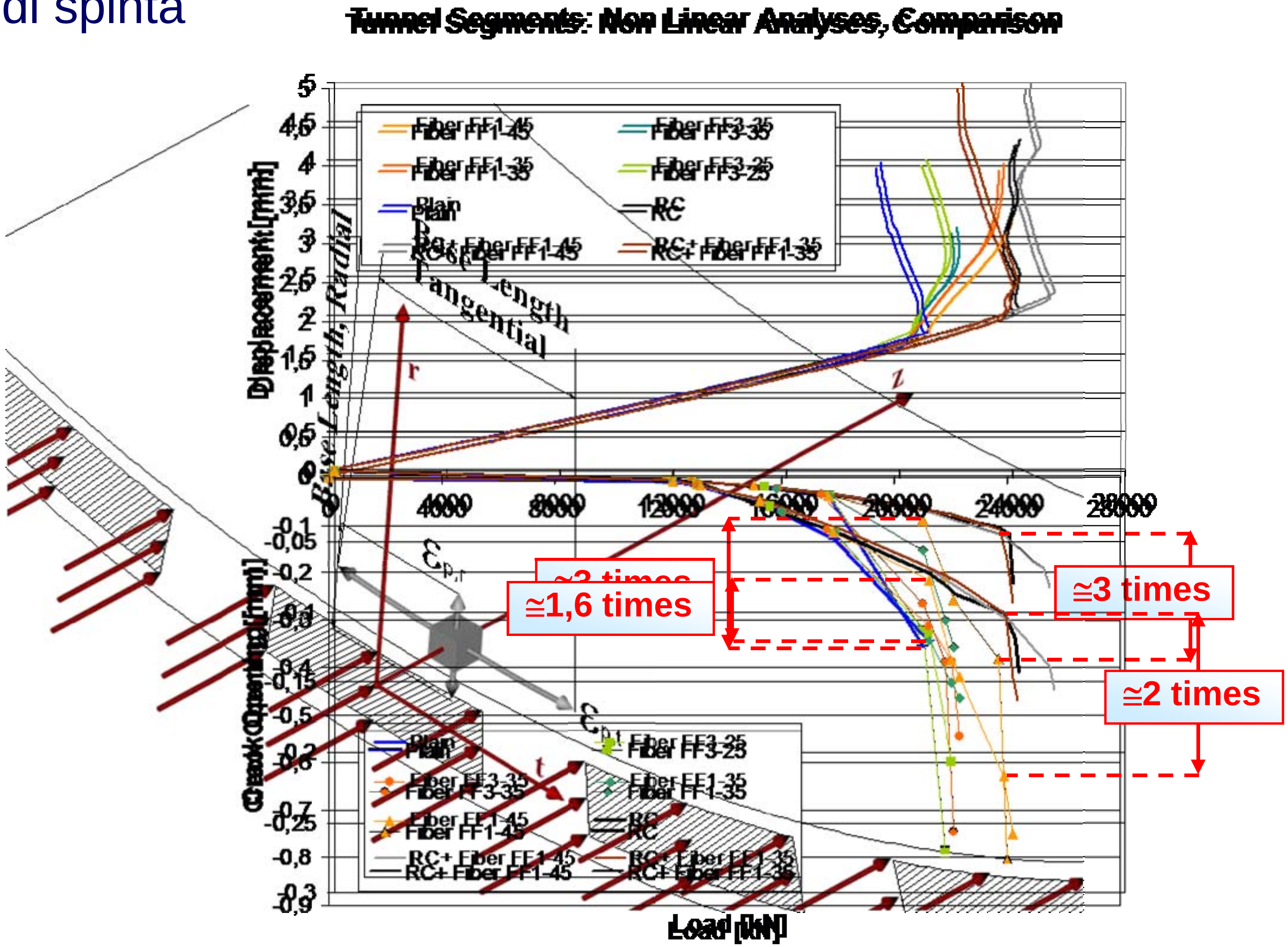


Nella zona analizzata si ha una ridistribuzione degli sforzi di trazione σ_r con l'aumentare del carico

Diffusione in profondità dello stato fessurativo

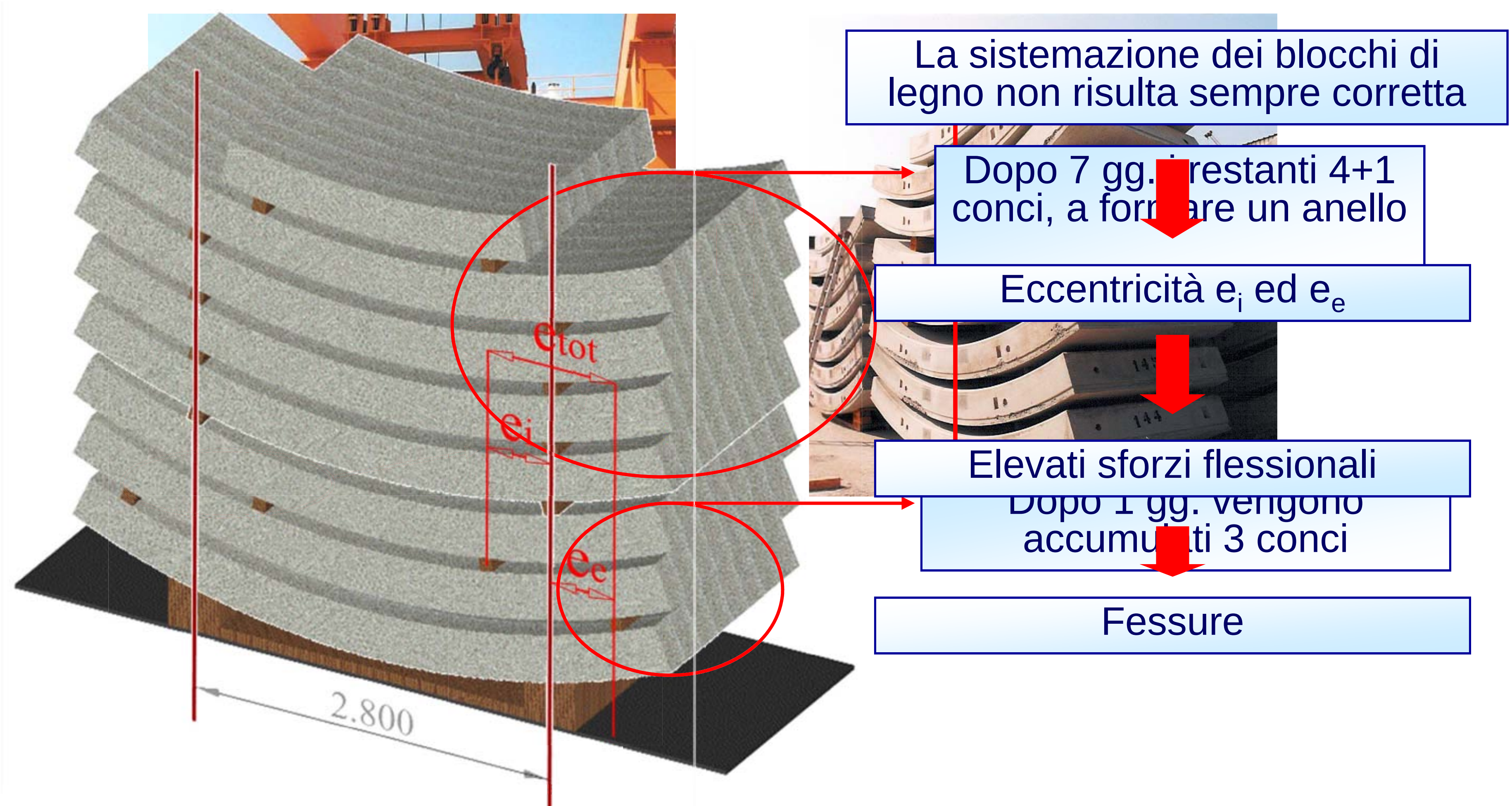
Analisi dello stato fessurativo

Si è analizzato lo stato fessurativo al di sotto della zona di carico dei martinetti di spinta



Fase di stoccaggio

Dopo lo scassero i conci vengono impilati uno sopra l'altro mediante l'uso di blocchi di legno



La sistemazione dei blocchi di legno non risulta sempre corretta

Dopo 1 gg. vengono accumulati 3 conci

Dopo 7 gg. i restanti 4+1 conci, a formare un anello

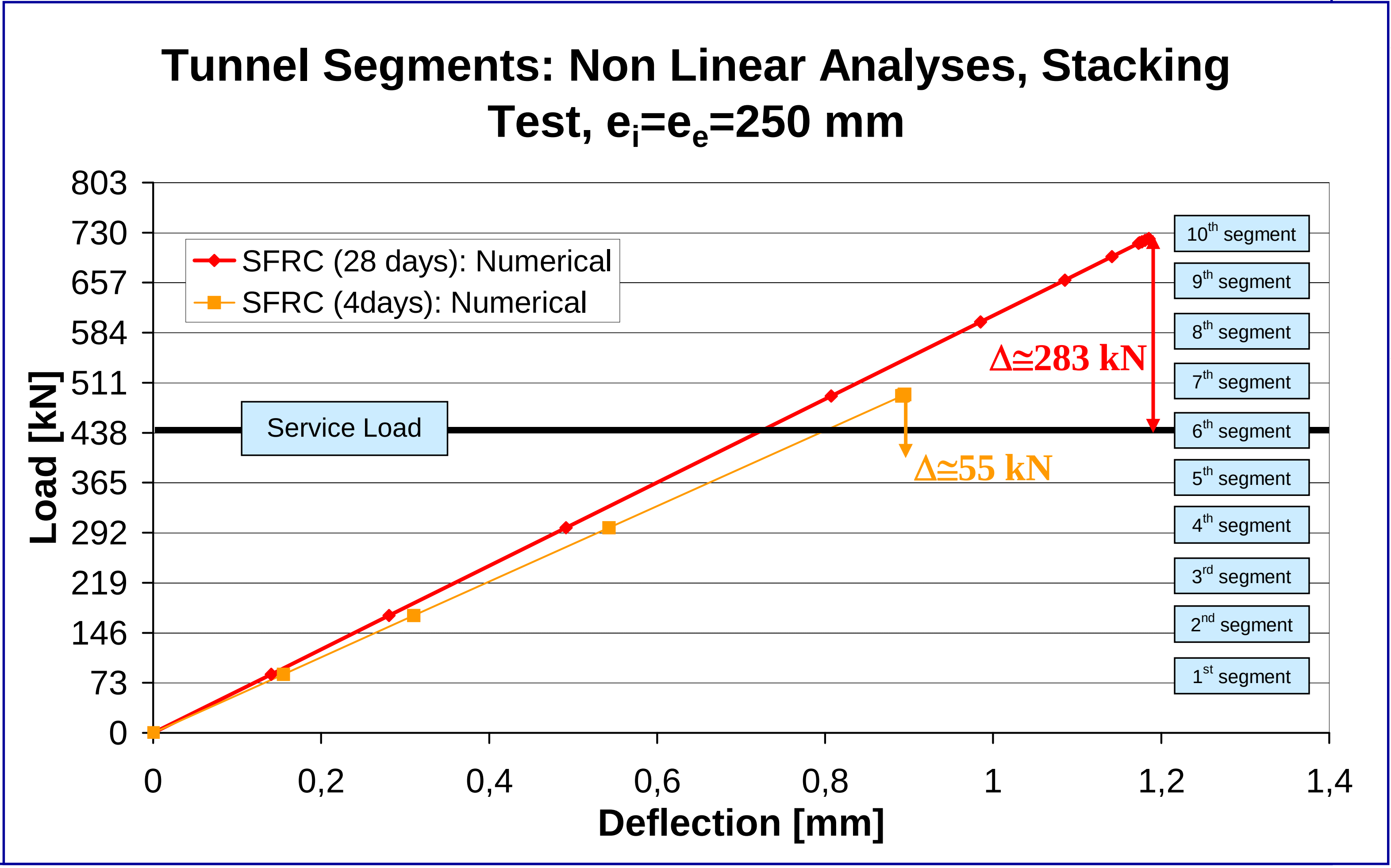
Eccentricità e_i ed e_e

Elevati sforzi flessionali

Fessure

Modellazione e risultati numerici

Le analisi numeriche sono state effettuate considerando



mat.

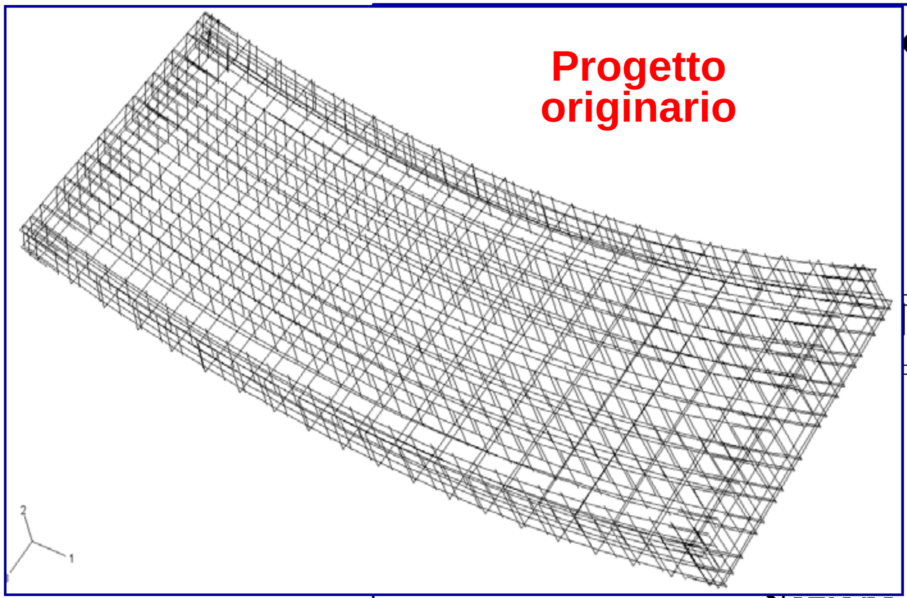
i mat.

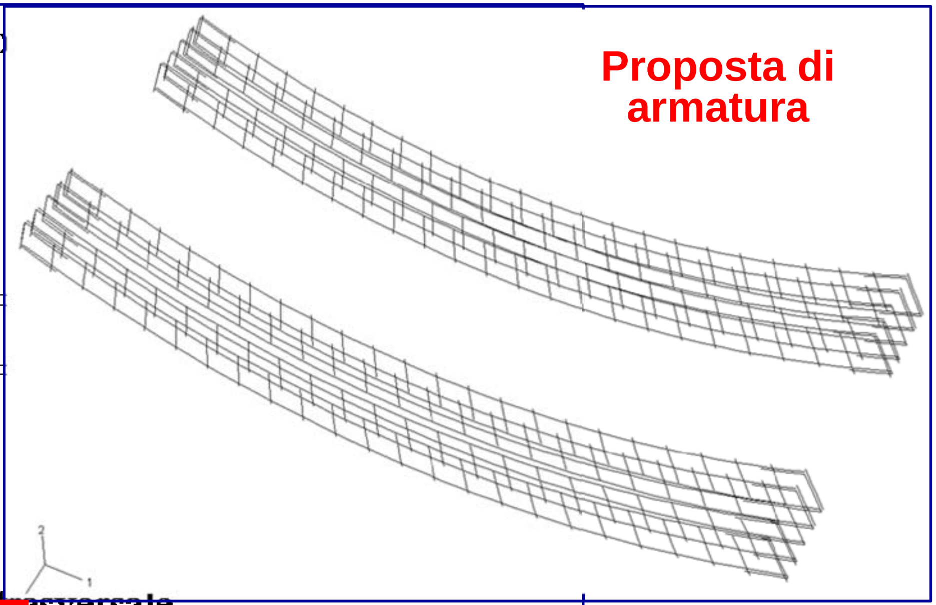
mat.

i mat.

Proposta progettuale

Si propone l'impiego <u>combinato</u> nei conci di fibre Wirand FF1-45 e di un'armatura consistente in due elementi di contorno.

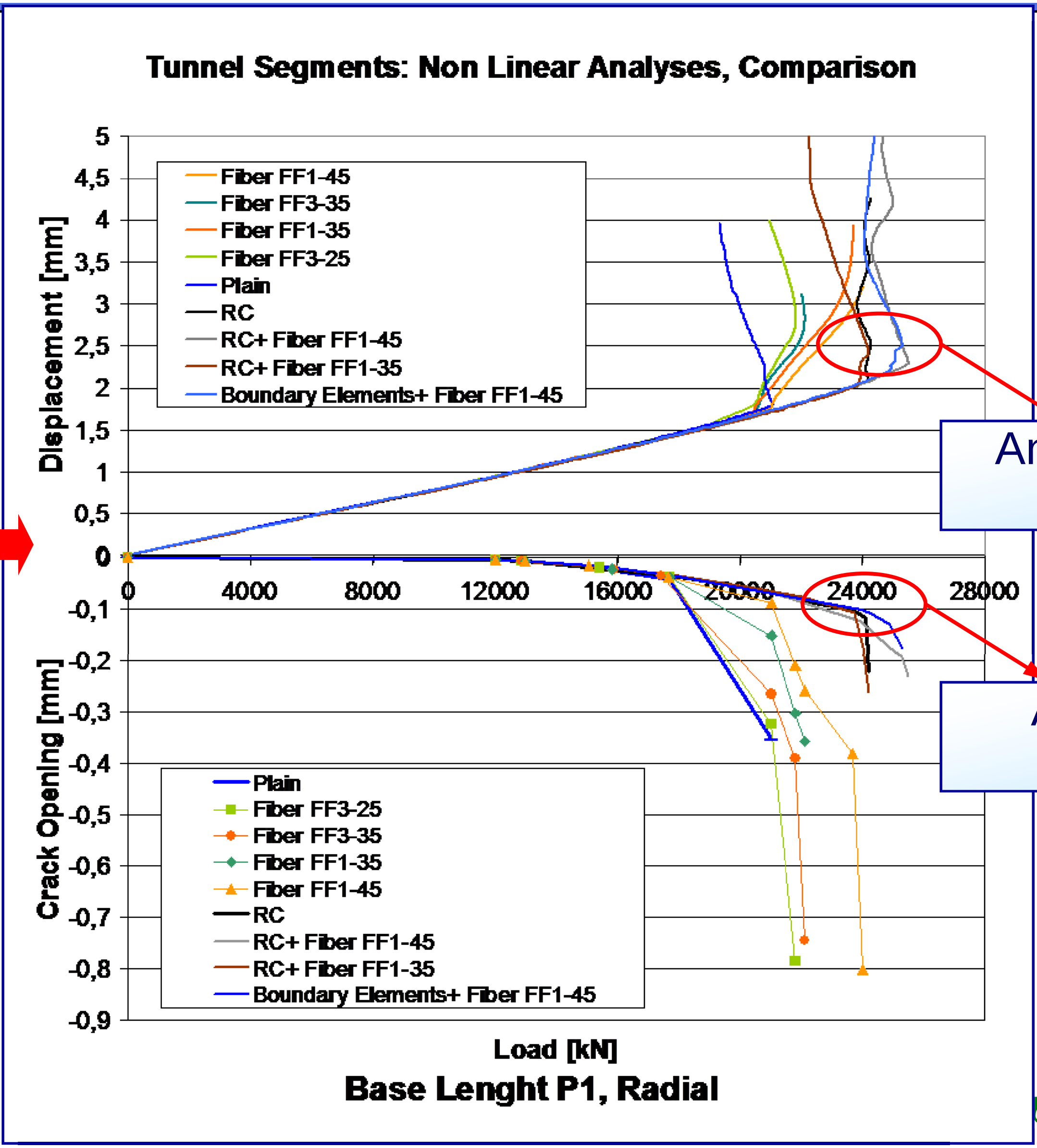




Vantaggi:
1) minore ingombro
2) più semplice realizzazione
3) più semplice posa

Proposta progettuale

Analisi numeriche della fase di spinta



Analoga capacità portante

Analogo stato fessurativo

Considerazioni conclusive

L’impiego di sole fibre con un quantitativo superiore o uguale a 45kg/m^3 può risultare efficace e in grado di garantire una sufficiente capacità resistente se gli sforzi flessionali sono limitati

Risulta conveniente l’impiego combinato di fibre e armatura tradizionale

1) Le fibre sono adatte per situazioni di sforzo diffuso

riducono l’ampiezza delle fessure

2) L’armatura tradizionale è adatta per sforzi localizzati elevati

stati di sforzo flessionali elevati

Thank you for your attention!