



**Club Alpino Italiano**  
Commissione Centrale Speleologia e Torrentismo - Scuola Nazionale di Speleologia  
Gruppo di Studio **MATERIALI E TECNICHE**



## **CARATTERISTICHE E RESISTENZA DEI TASSELLI RESINATI:**

- ✓ *messa in opera*
- ✓ *meccanismo di rottura a estrazione*
- ✓ *superficie di taglio e forza di rottura*
- ✓ *confronto fra resine*
- ✓ *tempo d'indurimento*
- ✓ *sforzo d'estrazione*
- ✓ *ricerche (preliminari) fori asciutti/bagnati*
- ✓ *fori puliti/sporchi*
- ✓ *confronto fra ancoraggi*

**PREMESSA** – Le elaborazioni e le conclusioni presentate in questo articolo sono basate sui test e sugli studi realizzati nel 1996-97, considerazioni e conclusioni poi confermate con i test del 2013 (in collaborazione con l'Associazione Italiana Canyoning) e del 2017-18 (Finale Ligure, Casola Valsenio e Villa Scirca).

## **TEST ED ELABORAZIONI DEL 1996-97**

Laboratorio di Costacciaro – Gruppo Lavoro Materiali e Tecniche SNS CAI

### **Standard di riferimento e condizioni sperimentali**

Per supporti rocciosi standard (roccia di riferimento) sono stati utilizzati dei blocchetti di Marmo Bianco Carrara (MBC) - una roccia nota per le sue elevate caratteristiche di omogeneità - delle dimensioni di 15x15x12 cm.

I fori sui blocchetti sono stati eseguiti con trapano a batteria Bosch e ripuliti dalla polvere. Al momento del riempimento con la resina (epossidica) erano asciutti e la temperatura ambiente era di 15° C.

I collanti presi in considerazione sono:

- Hilti HY 150
- Saratoga "Forte Presa"
- Spit Derringer
- Fischer C 700
- Fischer C 235
- Wurth Wit C 100.

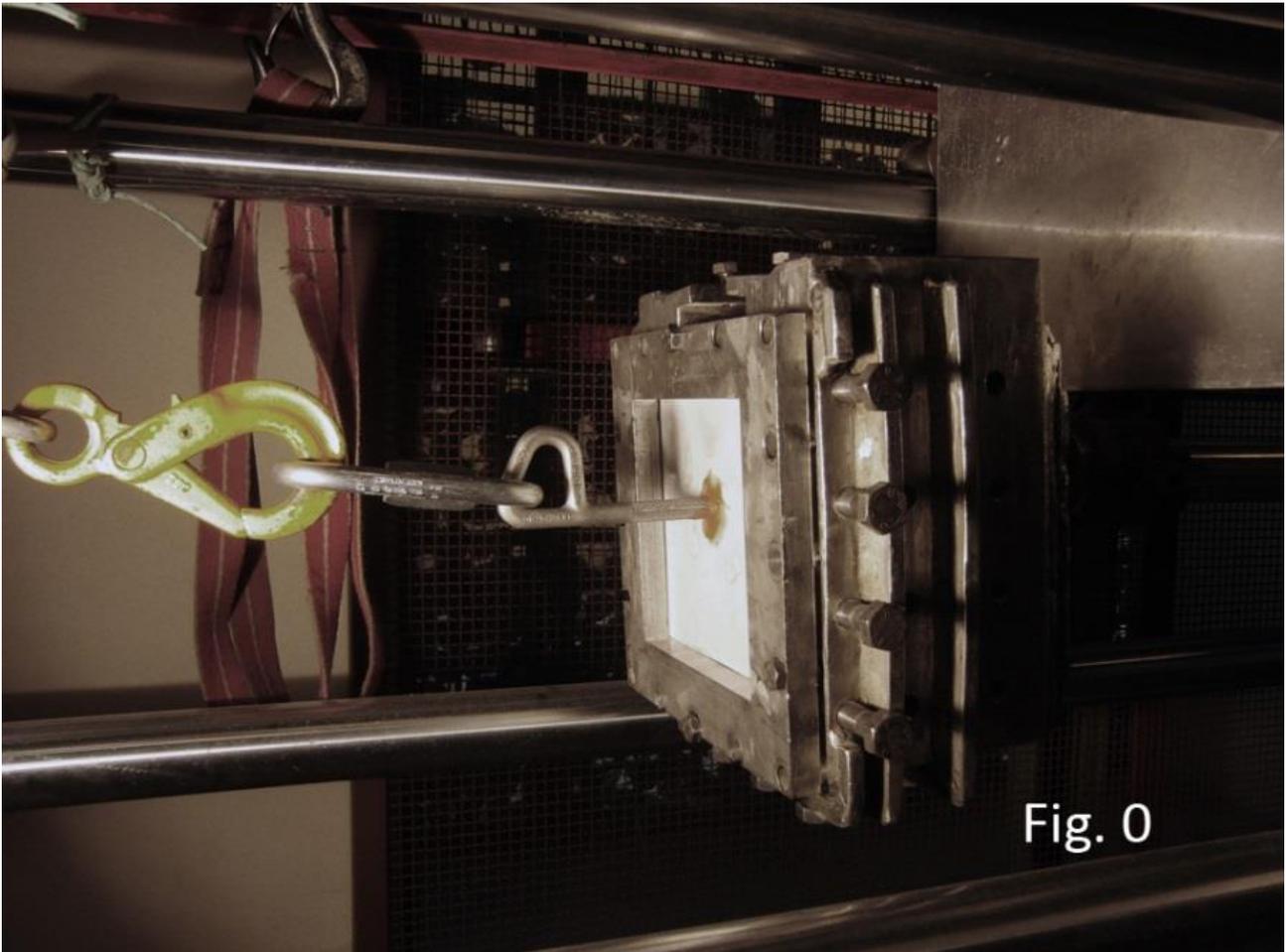


Fig. 0

Per tassello sono state utilizzate delle barre di acciaio ad alta resistenza (12.9), di vario diametro, ma sempre con filettatura tipo M, immerse nella resina con profondità variabili, all'interno di fori di diametro anch'esso variabile.



In tal modo sono stati ottenuti degli ancoraggi:

- 1) *di varia lunghezza e diametro ma con architettura standardizzata e riproducibile,*
- 2) *con resistenza tanto elevata da determinare, a estrazione, la crisi e la rottura del collante senza far intervenire la rottura della barra.*

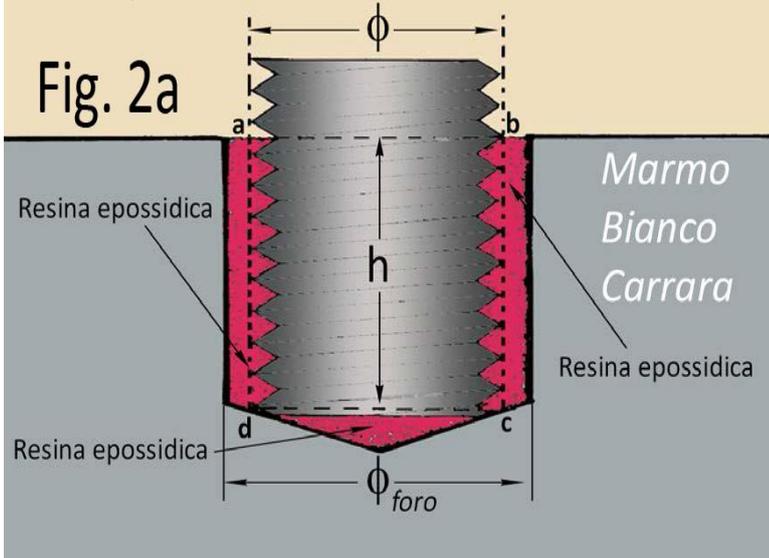
Sono stati eseguiti 133 test a estrazione (**Figura 0**) con le sei diverse resine. La velocità di trazione della macchina dinamometrica era di 0.006 m/s (*trazione lenta o quasi-statica*), che ha prodotto sollecitazioni via via crescenti fino alla rottura dell'ancoraggio con l'estrazione completa della barra filettata dal foro. La forza massima registrata è definita "d'estrazione" con simbolo  $F_{re}$  (in kgp).

## ANCORAGGIO CON BARRA FILETTATA SU RESINA EPOSSIDICA

$\phi$  diametro barra filettata  
 $h$  profondità immersione barra filettata nella resina  
 a-b-c-d sezione del cilindro che avvolge la barra filettata

$\phi_{\text{foro}}$  diametro foro trapano  
 $S = \pi \cdot \phi \cdot h$  superficie del cilindro che avvolge la barra filettata

Fig. 2a



## Valutazione dei test e superficie di taglio S

E' una constatazione ricorrente, senza eccezioni, che il cedimento dell'ancoraggio, con tutte le diverse resine e con tutti i diversi diametri delle barre e dei fori, porta all'estrazione delle barre filettate dal cemento chimico, lasciando un foro:

- 1) profondo quanto la parte di barra filettata immersa nel collante,
- 2) con diametro pari a quello della barra stessa misurato sulla parte esterna dei filetti.

La parte di barra estratta si presenta come un cilindro di superficie uniforme, con i filetti riempiti di collante (**Figura 1**).

Il cedimento è avvenuto nella resina, in quanto penetrata all'interno dei filetti della barra, lungo l'ideale superficie cilindrica che lo avvolge (sulla punta della filettatura). Superficie cilindrica di altezza  $h$  e diametro  $\phi$ .

Detta superficie è definita "di taglio" ed è quantificata dalla relazione:

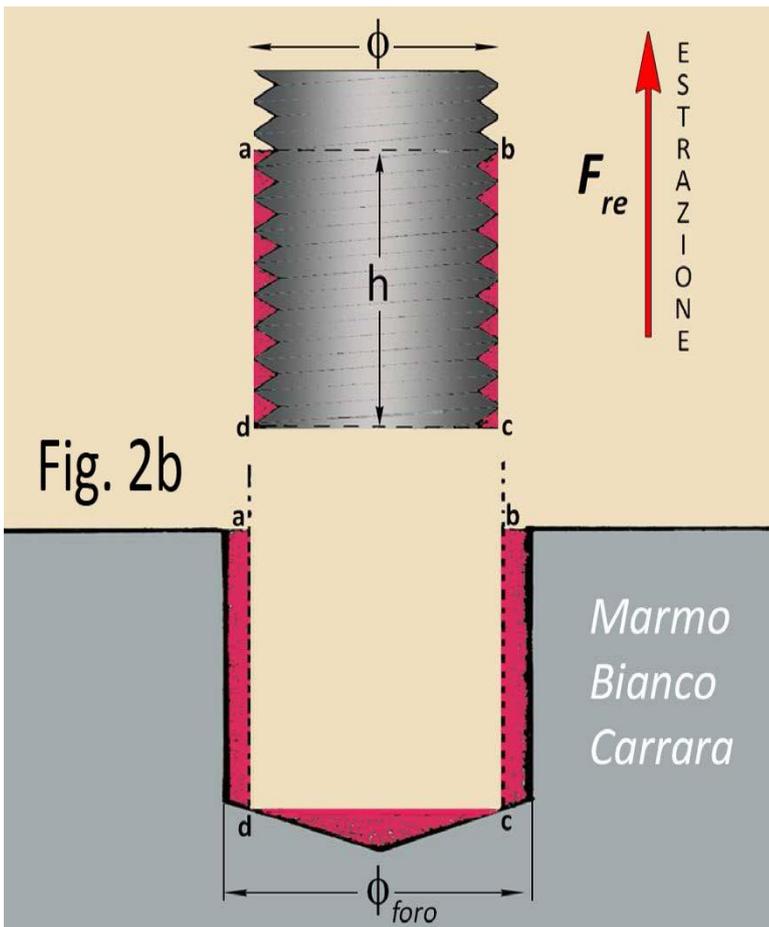
$$S = \pi \cdot \phi \cdot h \quad (1)$$

Per contro è evidente che non c'è alcuna adesione (legame chimico) fra collante e metallo.

Infatti:

- 1) è molto facile togliere la resina indurita fra i filetti;
- 2) i test a estrazione con analoghe barre metalliche ma con superficie liscia (non filettate) hanno dato valori di forza pressoché nulli;
- 3) la bara filettata immersa nel collante indurito può essere svitata con attrito praticamente nullo.

Fig. 2b



Nelle **Figure 2a e 2b** è raffigurata la successione delle situazioni che si determinano prima e dopo l'estrazione della barra filettata.

Da tener presente che l'entità del diametro del foro  $\varnothing_{foro}$  non influenza in alcun modo la forza necessaria all'estrazione  $F_{re}$ .

Rimane comunque evidente che fra il diametro del foro e della barra deve valere la relazione:

$$\varnothing_{foro} > \varnothing$$

con il primo maggiorato di almeno 2 mm rispetto il secondo (meglio se la maggiorazione è superiore, per evitare che si creino delle bolle nella resina che avvolge il tassello: immergendo la barra nella resina occorre "avvitare" ripetutamente la barra filettata, sia in senso orario sia antiorario).

Per ottenere la tenuta all'estrazione più elevata la barra filettata deve essere messa in opera perpendicolarmente alla superficie rocciosa.

### **Superficie di taglio $S$ e forza d'estrazione $F_{re}$**

Dall'insieme dei test si evince - in modo chiaro, preciso e statisticamente validato - che esiste una legge sperimentale così definita:

la forza  $F_{re}$  necessaria per produrre l'estrazione dei tasselli resinati è direttamente proporzionale alla superficie di taglio  $S$ .

Quindi, un ancoraggio chimico è tanto più resistente quanto maggiore è il diametro  $\varnothing$  della barra filettata e quanto più questa è immersa nel collante ( $h$ ). Questa legge sperimentale è espressa dalla relazione:

$$F_{re} = S \cdot \sigma_{\tau} \quad (2)$$

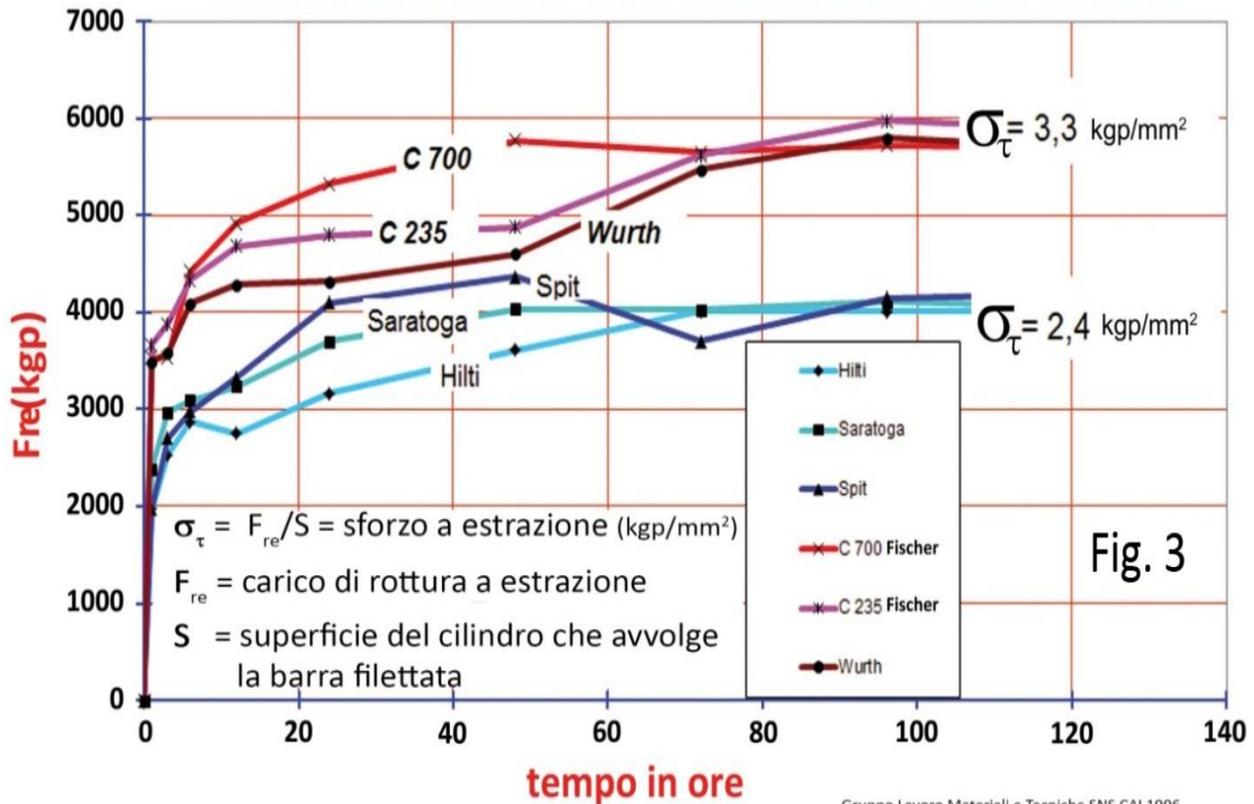
dove:

$$\sigma_{\tau} = F_{re}/S = \text{sforzo a estrazione (kgp/mm}^2\text{)} \quad (3)$$

Lo *sforzo a estrazione* (in realtà a taglio)  $\sigma_{\tau}$  è una costante che caratterizza ogni diversa resina indurita al massimo livello, ricavabile sperimentalmente con la relazione (2). Esso rappresenta il carico di rottura a taglio in  $kgp$  per ogni  $mm^2$  di superficie della resina; è indipendente dalle dimensioni del foro nella roccia, dal diametro della barra e dall'altezza d'immersione. Per contro lo *sforzo d'estrazione* è dipendente dal tempo d'indurimento (Figura 3).

**Importante:** questa conclusione permette fra l'altro di prevedere la tenuta a estrazione di una barra filettata conoscendone il diametro  $\varnothing$ , la profondità d'immersione nel foro  $h$  e lo sforzo a estrazione  $\sigma_{\tau}$  caratteristico del collante utilizzato.

## CONFRONTO FRA RESINE DIVERSE



### Confronto fra resine: calcolo dello sforzo a estrazione $\sigma_{\tau}$ e valutazione della tenuta degli ancoraggi in funzione del tempo d'indurimento

In funzione del tempo dalla messa in opera e del tipo di collante (le 6 resine prima elencate), è stata calcolata la forza necessaria a produrre la rottura a estrazione per ancoraggi con le seguenti caratteristiche:

- Marmo Bianco Carrara come supporto roccioso
- barra con filettatura tipo M del diametro di 8 mm e acciaio 12.9
- foro di 10 mm di diametro e 68,5 mm di profondità d'immersione
- temperatura ambiente 15°C.

I test sono stati svolti nel periodo di 96 ore, con cadenza 0,5 ore - 2 ore - 6 ore - 12 ore - 24 ore - 48 ore - 72 ore - 96 ore. I risultati sono contenuti nel grafico di **Figura 3** (ogni punto rappresenta il valore medio di almeno 3 test).

Da questi grafici a confronto si ricava che:

- dopo appena 30 minuti dalla messa in opera la tenuta all'estrazione di ogni resina è comunque superiore o pari ai 2000 kgp;
- segue un intervallo di tempo (12 ore – 72 ore) dove si manifesta una crescita dei valori con una certa dispersione dei dati;
- dopo 72 ore si raggiunge per tutte le resine il massimo indurimento;
- oltre questo intervallo la resistenza alla rottura non varia.

I collanti esaminati si dividono in due categorie:

- 1) Wurth Wit C 100, Fischer 235, Fischer 700 con  $\sigma_{\tau} = 3,3 \text{ kgp/mm}^2$
- 2) Spit, Saratoga e Hilti con  $\sigma_{\tau} = 2,4 \text{ kgp/mm}^2$

E' evidente che le resine del primo gruppo danno carichi di rottura con valori più elevati.

*Con temperature inferiori ai 15° C il tempo d'indurimento si allunga: tanto più la temperatura dell'ambiente è bassa tanto più tempo occorre perché si verifichi il massimo indurimento e quindi la massima tenuta.*

Per ottenere il massimo valore della forza d'estrazione occorre evitare che:

- *il collante sia scaduto,*
- *la barra filettata non sia posta al centro del foro e perpendicolare alla superficie rocciosa,*
- *il foro e la barra abbiano lo stesso diametro (devono esserci almeno 2 mm di differenza).*

Si ricorda che al momento dell'immissione della resina le pareti del foro erano asciutte.

Altrimenti, con foro bagnato o pieno d'acqua, si possono avere riduzioni di tenuta molto diverse, anche marcatamente (questo problema sarà, in parte, esaminato con i test descritti nei paragrafi successivi).

## **Confronto fra barre filettate e barre zigrinate**

Al posto delle barre con filettatura M possono essere utilizzate delle barre con zigrinatura: la tenuta è pressoché identica. La legge sperimentale (2) vale in entrambi i casi.

In commercio, solitamente, si trovano ancoraggi di acciaio inox con zigrinatura (vedi Raumer) con diametro di 10 mm. Sottoposti a test a trazione hanno dato valori di forza ben superiori ai 5000 kgp. Sono sicuramente sovradimensionati rispetto alle esigenze richieste, tanto per la progressione speleologica (e canyonig) che alpinistica.

Anche con sollecitazione a taglio (perpendicolare alla superficie della roccia) i tasselli in questione hanno dato valori di forza superiori ai 4000 kgp (molto vicini ai valori di forza che si possono ottenere nelle stesse condizioni di trazione con le barre filettate di diametro 8 mm e acciaio 12.9).

# **TEST ED ELABORAZIONI DEL 2013**

Laboratorio di Costacciaro – Gruppo Studio Materiali SNS CAI - Associazione Italiana Canyoning

## **Standard di riferimento e condizioni sperimentali**

I test sono stati eseguiti seguendo le stesse procedure sperimentali utilizzate per le ricerche presentate nel precedente capitolo, fra cui: barre filettate diametro 8 mm, filettatura tipo M, acciaio 12.9.

I fori nei blocchetti di roccia erano da 12 mm di diametro (nelle precedenti ricerche furono di 10 mm).

Le prove sono state eseguite con tre differenti resine epossidiche: **HILTI RE 500, WURTH VIT PE 500 e MUNGO MIT 600 RE.**

## Barre filettate dopo l'estrazione **FORI BAGNATI**

### Secondo caso

Assenza di adesione della resina alla roccia:  
 $F_{re} = 145 \text{ kgp}$  che equivale ad una riduzione del 97 % rispetto al carico di rottura a estrazione con foro asciutto

Fig. 4

### Primo caso

Parziale adesione della resina alla roccia:  
 $F_{re} = 1522 \text{ kgp}$  che equivale ad una riduzione del 62 % rispetto al carico di rottura a estrazione con foro asciutto



Per ogni tipo di resina sono stati effettuati 12 test a estrazione, 6 con foro asciutto e 6 con foro bagnato.

L'altezza d'immersione  $h$  delle barre nella resina nel foro è variata dai 30 mm ai 50 mm.

La velocità di trazione nel dinamometro era di 0,006 m/s con intervallo di campionatura  $\Delta T$  di 300 ms (millisecondi). Tutti test sono stati eseguiti dopo almeno 96 ore dalla messa in opera.

### Valutazioni delle variazioni di tenuta con foro asciutto o bagnato

I test hanno avuto, soprattutto, lo scopo di valutare le eventuali differenze nella forza all'estrazione  $F_{re}$ :

✓ con foro asciutto

✓ con foro bagnato

I 36 test hanno dato risultati inequivocabili, come risulta dalla **Figura 4** e dalle tabelle qui di seguito esposte.

### Fori asciutti

Il primo dato che risalta è la quasi perfetta coincidenza con le modalità di rottura e i valori di forza verificati nei test del 1996-97 (Figure 1, 2a, 2b, 3).



Fig. 5

Con foro asciutto il risultato dopo l'estrazione è quello di **Figura 5** e vale la **legge sperimentale (2)** (la forza all'estrazione  $F_{re}$  è direttamente proporzionale alla superficie di taglio  $S$ ).

Anche i valori dello sforzo a estrazione  $\sigma_T$  sono simili; anzi nel caso della resina HILTI RE 500 molto più elevati ( $3,54 \text{ kgp/mm}^2$  contro  $2,4 \text{ kgp/mm}^2$ ). E' evidente che in 15 anni questa resina è stata migliorata.

I valori assoluti di forza all'estrazione, a indurimento completato, indicati nel grafico della **Figura 3**

(circa 6000 kgp) sono superiori a quelli riscontrabili nelle tabelle dei test dell'anno 2013 (intorno ai 4000 kgp) in quanto l'altezza dell'immersione della barra nella resina del foro nel 1996 era di circa 10 mm superiore.

Nel complesso, tenuto conto di tutti i risultati riportati nelle tre tabelle che seguono, si può dunque affermare che i test 2013 con fori asciutti hanno pienamente confermato i test del 1996, sia nelle modalità di cedimento che nei valori di forza registrati alla rottura (anzi superandoli leggermente). Inoltre viene mostrato ancora una volta che i tasselli resinati, a parità di dimensioni con altri tipi di ancoraggio, abbiano carichi di rottura superiori, anche troppo elevati rispetto alle esigenze della progressione speleologica e alpinistica.

### Resina: **HILTI RE 500 Marmo Bianco Carrara**

Acciaio barra: **12.9**

Diametro barra: **8 mm**

Diametro foro: **12 mm**

Condizioni foro	Test n°	$F_{re}$ (kgp)	h (mm)	$\sigma_{\tau}$ (kgp/mm <sup>2</sup> )	Anno	$\Delta T$ (ms)
Asciutto	1	4166	47	3,53	2013	300
Asciutto	2	4242	48	3,52	2013	300
Asciutto	3	4641	51	3,62	2013	300
Asciutto	4	4555	51	3,56	2013	300
Asciutto	5	2792	31	3,59	2013	300
Asciutto	6	3432	40	3,42	2013	300
			<i>Media</i>	<b>3,54</b>		
Bagnato	7	277	47	0,23	2013	300
Bagnato	8	150	43	0,14	2013	300
Bagnato	9	145	50	0,12	2013	300
Bagnato	10	383	45	0,34	2013	300
Bagnato	11	590	47	0,50	2013	300
Bagnato	12	252	44	0,23	2013	300
			<i>Media</i>	<b>0,26</b>	<b>-92,67</b>	<b>% <math>F_{re}</math></b>

### Fori bagnati

Ben diversi, in senso negativo, i risultati ottenuti con fori bagnati (prima dell'immissione della resina il foro è stato riempito d'acqua, rimastavi per almeno due ore).

Nel caso delle resine **HILTI RE 500** e **WURTH VIT PE 500** la forza d'estrazione si è ridotta a poche centinaia di kgp. L'ancoraggio è stato estratto con la resina che lo avvolge completamente: è evidente che non c'è stata alcuna adesione fra resina e roccia (**Figura 4** tassello a destra). E' stato anche possibile svitare la barra dal "tappo" di collante indurito. Lo sforzo a estrazione  $\sigma_{\tau}$  è ridotto a 0,17 – 0,26 kgp/mm<sup>2</sup>, assolutamente insufficiente per ogni tipo di progressione.

Il numero di test effettuati e la riproducibilità dei risultati rende queste conclusioni certe.

## Resina: **WURTH VIT PE 500 Marmo Bianco Carrara**

Acciaio barra: **12.9**

Diametro barra: **8 mm**

Diametro foro: **12 mm**

Condizioni foro	Test n°	F <sub>re</sub> (kgp)	h (mm)	σ <sub>τ</sub> (kgp/mm <sup>2</sup> )	Anno	ΔT(ms)
Asciutto	1	4049	48	3,36	2013	300
Asciutto	2	3887	45	3,44	2013	300
Asciutto	3	3740	44	3,38	2013	300
Asciutto	4	4594	51	3,59	2013	300
Asciutto	5	2420	29	3,32	2013	300
Asciutto	6	3319	40	3,30	2013	300
			<i>Media</i>	<b>3,40</b>		
Bagnato	7	80	48	0,07	2013	300
Bagnato	8	204	45	0,18	2013	300
Bagnato	9	169	45	0,15	2013	300
Bagnato	10	275	47	0,23	2013	300
Bagnato	11	230	47	0,19	2013	300
Bagnato	12	223	48	0,18	2013	300
			<i>Media</i>	<b>0,17</b>	<b>-95,05</b>	<b>% F<sub>re</sub></b>

Con queste due resine, sulla base dei risultati dei test riportati nelle precedenti tabelle, risulta estremamente pericoloso utilizzarne gli ancoraggi, mostrando una diminuzione, rispetto all' "asciutto", di ben il 95,05 %. E' evidente che nessun legame chimico adeguato si è stabilito fra resina epossidica e calcare (occorreranno altre ricerche per capirne il motivo intimo).

Sarà anche necessario effettuare nuove indagini, tanto sperimentali quanto teoriche, per confermare o meno l'abbassamento drastico della tenuta degli ancoraggi con resine **HILTI RE 500** e **WURTH VIT PE 500** con fori bagnati, magari facendo test con diverse modalità nel "bagnare" i fori.

Come si vede nella tabella sottostante, la resina **MUNGO MIT 600 RE** con foro asciutto, possiede fra i tre collanti esaminati nel 2013 il più elevato valore di sforzo a estrazione σ<sub>τ</sub> (anche 3,86 kgp/mm<sup>2</sup>). Anche con foro bagnato questa resina si distingue dalle altre due: lo sforzo a estrazione medio σ<sub>τ</sub> sale a 1,13 kgp/mm<sup>2</sup> con un punta di 2,68 kgp/mm<sup>2</sup>. La diminuzione rispetto al foro asciutto è del 68,52 %.

Ma la dispersione dei dati dello sforzo a estrazione con foro bagnato con la resina **MUNGO MIT 600 RE** (varia da 0,17 kgp/mm<sup>2</sup> a 2,68 kgp/mm<sup>2</sup> e se ne comprende la causa osservando il tassello di sinistra della **Figura 5**: solo una parte della resina ha aderito alla roccia, con estensione imprevedibile) è talmente elevata da rendere comunque questo tipo d'ancoraggio estremamente pericoloso. Se questa aleatorietà si manifestasse anche con ulteriori ricerche, sarebbe necessario garantire che gli ancoraggi resinati vengano messi in opera solo con fori asciutti.

## Resina: **MUNGO MIT 600 RE** Marmo Bianco Carrara

Acciaio barra: **12.9**

Diametro barra: **8 mm**

Diametro foro: **12 mm**

Condizioni foro	Test n°	F <sub>re</sub> (kgp)	h (mm)	$\sigma_{\tau}$ (kgp/mm <sup>2</sup> )	Anno	$\Delta T$ (ms)
Asciutto	1	4446	47	3,77	2013	300
Asciutto	2	4327	48	3,59	2013	300
Asciutto	3	4546	48	3,77	2013	300
Asciutto	4	4844	50	3,86	2013	300
Asciutto	5	2469	30	3,28	2013	300
Asciutto	6	3209	39	3,28	2013	300
			<i>Media</i>	<b>3,59</b>		
Bagnato	7	285	45	0,25	2013	300
Bagnato	8	1522	44	1,38	2013	300
Bagnato	9	436	46	0,38	2013	300
Bagnato	10	2272	47	1,92	2013	300
Bagnato	11	212	49	0,17	2013	300
Bagnato	12	3160	47	2,68	2013	300
			<i>Media</i>	<b>1,13</b>	<b>-68,52</b>	% F <sub>re</sub>

## TEST ED ELABORAZIONI DEL 2017 - 2018

Laboratorio di Villa Scirca C.R.A.S.C. – Gruppo Studio Materiali SNS CAI – Finale Ligure CCST CAI  
Casola Valsenio CCST CAI

### Standard di riferimento e condizioni sperimentali

I test sono stati eseguiti seguendo le stesse procedure sperimentali utilizzate per le ricerche presentate nel precedente capitolo, fra cui: barre filettate diametro 8 mm, filettatura tipo M, acciaio 12.9.

I fori nei blocchetti di roccia erano da 12 mm di diametro come nella precedente ricerca (nei test del 1996-97 il diametro del foro era invece di 10 mm).

Le prove, tutte a estrazione, sono state eseguite con due resine epossidiche: **WURTH VIT EA 150** e **BERNER Multy System Epoxy**. Nel complesso 18 test, 12 per la prima resina (6 con foro asciutto e 6 con foro bagnato) e 6 per la seconda (3 con foro asciutto e 3 con foro bagnato).

L'altezza d'immersione **h** delle barre nella resina nel foro è variata dai 36 mm ai 50 mm.

La velocità di trazione nel dinamometro era di 0,006 m/s con intervallo di campionatura  $\Delta T$  di 300 ms (milli secondi); in alcuni test questo intervallo è stato di 50 e 10 ms. Tutti test sono stati eseguiti dopo almeno 96 ore dalla messa in opera.

## Resina: WURTH VIT EA 150 Marmo Bianco Carrara

Acciaio barra: **12.9**

Diametro barra: **8 mm**

Diametro foro: **12 mm**

Condizioni foro	Test n°	$F_{re}$ (kgp)	h (mm)	$\sigma_{\tau}$ (kgp/mm <sup>2</sup> )	Anno	$\Delta T$ (ms)
Asciutto	1	4312	50	3,43	2017	300
Asciutto	2	3773	44	3,41	2017	300
Asciutto	3	3710	43	3,43	2017	300
Asciutto	4	3192	36	3,53	2018	10
Asciutto	5	3150	36	3,48	2018	50
Asciutto	6	4720	53	3,55	2018	10
			<i>Media</i>	<b>3,47</b>		
Bagnato	7	2933	45	2,59	2017	300
Bagnato	8	3394	50	2,70	2017	300
Bagnato	9	2170	38	2,27	2017	300
Bagnato	10	2518	36	2,78	2018	10
Bagnato	11	1807	40	1,80	2018	50
Bagnato	12	2100	37	2,26	2018	10
			<i>Media</i>	<b>2,40</b>	<b>-30,84</b>	<b>% <math>F_{re}</math></b>

### Valutazioni delle variazioni di tenuta con foro asciutto e bagnato

Anche in questo caso i test hanno avuto, soprattutto, lo scopo di valutare le eventuali differenze nella forza all'estrazione  $F_{re}$  con foro asciutto e bagnato.

I 18 test hanno dato risultati molto indicativi, come risulta dalle tabelle in questo paragrafo riportate.

#### Fori asciutti

Ancora una volta il primo dato che risalta è la coincidenza con le modalità di rottura riscontrate nei test del 1996-97 (Figure 1, 2a, 2b) e del 2013.

Il risultato dopo l'estrazione è quello di **Figura 5** e dunque vale ancora una volta la **legge sperimentale (2)** (la forza all'estrazione  $F_{re}$  è direttamente proporzionale alla superficie di taglio  $S$ ). Anche i valori dello sforzo a estrazione  $\sigma_{\tau}$  sono simili, se non superiori.

Anche i valori assoluti di forza all'estrazione (vedi tabella soprastante e sottostante) sono dello stesso ordine di grandezza di quelli ottenuti nelle precedenti ricerche.

Pertanto si conferma ulteriormente la grande resistenza alla rottura a estrazione, con foro asciutto, delle barre filettate, con qualsiasi tipo di resina.

## Resina: **BERNER Multi System Epoxy Marmo Bianco Carrara**

Acciaio barra: **12.9**

Diametro barra: **8 mm**

Diametro foro: **12 mm**

Condizioni foro	Test n°	F <sub>re</sub> (kgp)	h (mm)	σ <sub>τ</sub> (kgp/mm <sup>2</sup> )	Anno	ΔT(ms)
Asciutto	1	3456	39	3,53	2018	10
Asciutto	2	3956	45	3,50	2018	50
Asciutto	3	4220	48	3,50	2018	10
Asciutto	4					
Asciutto	5					
Asciutto	6					
			<i>Media</i>	<b>3,51</b>		
Bagnato	7	3148	49	2,56	2018	10
Bagnato	8	2110	42	2,00	2018	50
Bagnato	9	2638	50	2,10	2018	50
Bagnato	10					
Bagnato	11					
Bagnato	12					
			<i>Media</i>	<b>2,22</b>	<b>-36,76</b>	<b>% F<sub>re</sub></b>

Fig. 6



### Fori bagnati

Anche in questa serie di prove con fori bagnati i dati ottenuti mostrano che la resistenza all'estrazione diminuisce, non quanto nei test del 2013 (- 95%), ma pur sempre del 30 – 36 %. La superficie di taglio è solo parziale (**Figura 6**)

La sforzo a estrazione  $\sigma_{\tau}$  è ridotto a 2,40 kgp/mm<sup>2</sup> per **WURTH VIT EA 150** e a 2,22 kgp/mm<sup>2</sup> per **BERNER Multi System Epoxi**, valori comunque sufficienti a superare il **Limite Inferiore di Resistenza** (LIR) stabilito per la Catena di Sicurezza (vedi Libro Giallo).

Sembrerebbe che con il passar degli anni i produttori di resine epossidiche per la tamponatura dei tasselli nelle rocce abbiano migliorato i propri prodotti, soprattutto nella resistenza con fori bagnati.

Le ricerche del 2017 – 2018 confermano ancora una volta che il quadro generale sulla differenza asciutto/bagnato non è ben definito; e occorrono nuove ricerche per dare un quadro certo su cui affidarsi.

# CONCLUSIONI FINALI RICERCHE ANCORAGGI RESINATI

1996 – 2018

1. *modalità di cedimento a estrazione delle barre filettate*
2. *superficie d'estrazione  $S$ , forza d'estrazione  $F_{re}$  e sforzo d'estrazione  $\sigma_{\tau}$*
3. *valutazione delle forze d'estrazione  $F_{re}$  rispetto alle necessità dettate dalla catena di sicurezza speleo-alpinistica*
4. *confronto con altri tipi d'ancoraggio*

## Fori asciutti (1996 – 2018)

### Modalità di cedimento a estrazione delle barre filettate

Nell'arco di 22 anni tutti i test eseguiti nel Marmo Bianco Carrara (roccia di riferimento) hanno confermato che è il cedimento a taglio della superficie d'estrazione  $S$  (Figura 1, Figura 2a, Figura 2b; Pagina 2):

$$S = \pi \cdot \phi \cdot h \quad (1)$$

a determinare la rottura dell'ancoraggio.

### Superficie d'estrazione $S$ , forza d'estrazione $F_{re}$ e sforzo d'estrazione $\sigma_{\tau}$

E' altresì sempre confermato sperimentalmente che la forza d'estrazione  $F_{re}$  è direttamente proporzionale alla superficie  $S$  secondo la relazione:

$$F_{re} = S \cdot \sigma_{\tau} \quad (2)$$

dove la costante di proporzionalità, tipica di ogni diversa resina, è lo sforzo a estrazione :

$$\sigma_{\tau} = \text{sforzo a estrazione} = F_{re}/S \text{ (kgp/mm}^2\text{)} \quad (3)$$

Lo *sforzo a estrazione* (in realtà a taglio)  $\sigma_{\tau}$  è una costante che caratterizza ogni diversa resina indurita al massimo livello, ricavabile sperimentalmente con la relazione (2). Esso rappresenta il carico di rottura a taglio in *kgp* per ogni  $mm^2$  di superficie della resina; è indipendente dalle dimensioni del foro nella roccia, dal diametro della barra e dall'altezza d'immersione. Per contro lo *sforzo d'estrazione* è dipendente dal tempo d'indurimento (Figura 3).

**Importante:** questa conclusione permette fra l'altro di prevedere la tenuta a estrazione di una barra filettata conoscendone il diametro  $\theta$ , la profondità d'immersione nel foro  $h$  e lo sforzo a estrazione  $\sigma_{\tau}$  caratteristico del collante utilizzato.

### Valutazione delle forze d'estrazione $F_{re}$ rispetto alle necessità dettate dalla catena di sicurezza speleo-alpinistica

I valori di  $F_{re}$ , con fori asciutti, con immersione della barra filettata nella resina intorno ai 40 mm, sono costantemente intorno ai 3500-4000 kgp: forze estremamente elevate per la progressione speleologica dove per la Catena di Sicurezza è previsto un limite inferiore di resistenza (LIR) di 1100 kgp.

Tali rilevanti forze, peraltro vengono ottenute con dimensioni del foro e della barra molto ridotte (minimo dispendio d'energia di perforazione).

### Confronto fra ancoraggi (resinati/a espansione/autofilettanti)

Per mostrare la rilevante tenuta alla rottura dei tasselli resinati usati nelle prove 1996 – 2018 (resine epossidiche con barre filettate 12.9) - rispetto ad altri tipi di ancoraggio di dimensioni analoghe – sono stati fatti dei test i cui risultati sono riportati nella figura sottostante.

La trazione è sempre lenta (quasi-statica) con velocità 0,006 m/s. Per i resinati il collante era **WURTH EA 150**, l'indurimento superiore alle 96 ore e i fori nella roccia (Marmo Bianco Carrara) con diametro maggiorato di 4 mm rispetto al diametro del tassello.

Negli ancoraggi realizzati con barre filettate passo M e M+ l'acciaio era 12.9, come per i bulloni utilizzati nello Spit MF10.

Le barre filettate e i bulloni, elementi deputati a opporsi alla rottura, avevano lo stesso diametro di 10 mm: si è voluto, infatti, mettere a confronto gli ancoraggi non per le dimensioni ma piuttosto per le modalità di aderire alla roccia all'interno del foro attraverso la pressione (Spit e Fix) o adesione (resinati) o filettatura (Multimonti).

La profondità d'immersione nella resina del foro delle due barre, del Raumer Superstar e del Petzl Collinox 25kN era di 50 mm. Anche lo Spit MF10 e il Fix Hilti HSA10 sono penetrati nella roccia nella stessa misura. Le prove a taglio sono state fatte con trazione perpendicolare rispetto alla superficie del blocchetto di roccia.

## Confronto ancoraggi a espansione, autofilettanti, resinati

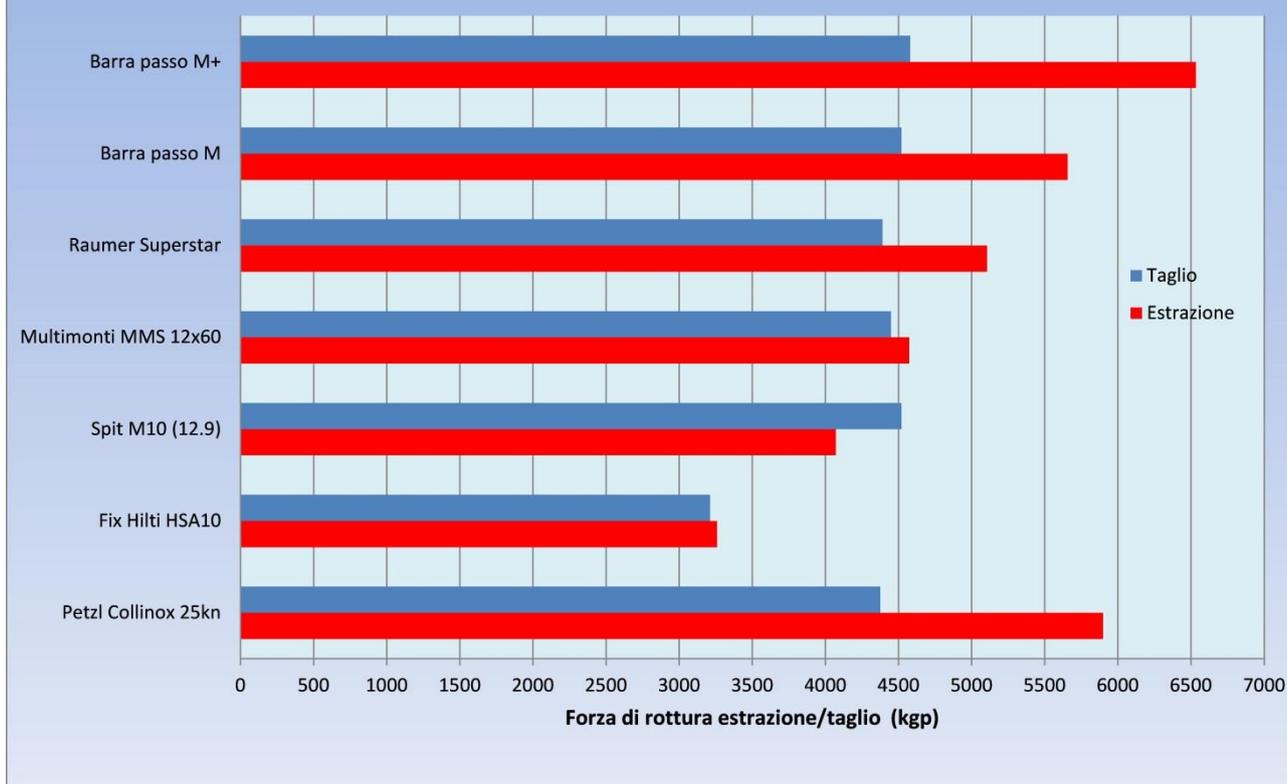


Fig. 7

**Prima valutazione: carichi di rottura esorbitanti** – Le due barre filettate **M** e **M+** immerse nella resina hanno la maggior tenuta a estrazione; pari a quella del Petzl Collinox 25 kN (in tutti i casi, il foro nella roccia aveva un diametro 14 mm) (Figura 7).

Quest'ultimo è un attrezzo di acciaio inox, molto costoso (15 €), consigliato dal costruttore solo per carichi estremamente pesanti ed esposto a condizioni ambientali molto corrosive.

Sono dati che mostrano una resistenza all'estrazione abnorme rispetto alle richieste di sicurezza della progressione speleo-alpinistica- canyoning

**Seconda valutazione: filettature con passo diverso** - La filettatura della barra in acciaio 12.9 con passo M+ si differenzia da quella con passo M (normale) in quanto la

prima ha un numero di filetti dimezzato per unità di lunghezza. Questo fa sì che la superficie d'estrazione **S** sia maggiore a parità di altezza **h** d'immersione nel collante: meno filetti significa più resina a contatto con la roccia e quindi più resistenza all'estrazione del tassello. Questo vale anche per il Collinox Petzl: se al posto delle scannellature ci fosse una filettatura la resistenza all'estrazione potrebbe essere anche raddoppiata.

Infatti, come indicato nel primo capitolo definendo la superficie d'estrazione **S**, il metallo non ha in pratica alcuna possibilità di aderire sulla resina epossidica: sono stati effettuati dei test su tutte



Fig. 8

le resine fin qui utilizzate - immergendovi anche per 100 mm dei tondini d'acciaio di diametro compreso fra 8 e 12 mm con **superficie liscia** - che hanno dato a estrazione forze comprese fra i 50 kgp e i 250 kgp! Quindi nessuna **adesione** rilevante fra resina e metallo!

**Terza valutazione: differenze fra filettatura e zigrinatura** – L'ancoraggio resinato con tassello Raumer Superstar con **zigrinatura** (Figura 8) da risultati pari alla barra filettata passo **A**. Ma la profondità d'immersione **h** nel collante è di 80 mm, quando di solito per le barre e il Collinox è di 50 mm. Ne segue che la zigrinatura crea una superficie d'estrazione **S**, a parità d'altezza d'immersione, inferiore a quella prodotta dalla filettatura.

**Quarta valutazione: pressione localizzata nel foro** – Lo Spit MF10 fa registrare una forza d'estrazione inferiore a quella delle barre filettate, del Raumer Superstar e del Collinox (-23 %). Evidentemente la pressione esercitata solo nella parte finale del foro ha meno efficacia dell'adesione della resina lungo tutta la sua lunghezza (Figura 9).

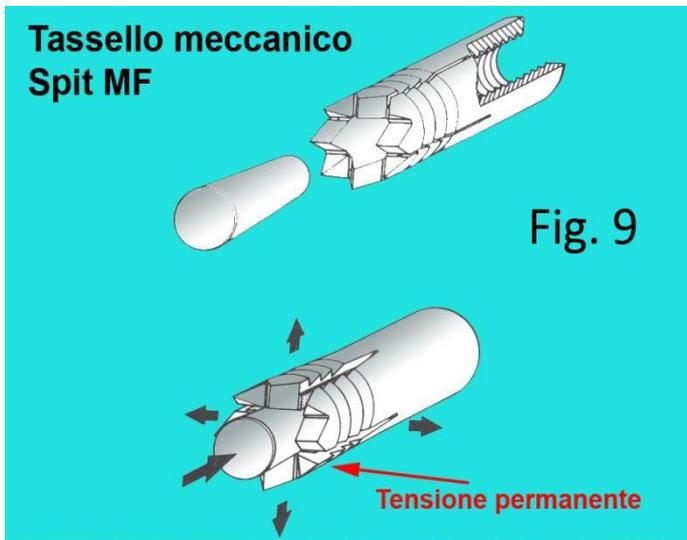


Fig. 9

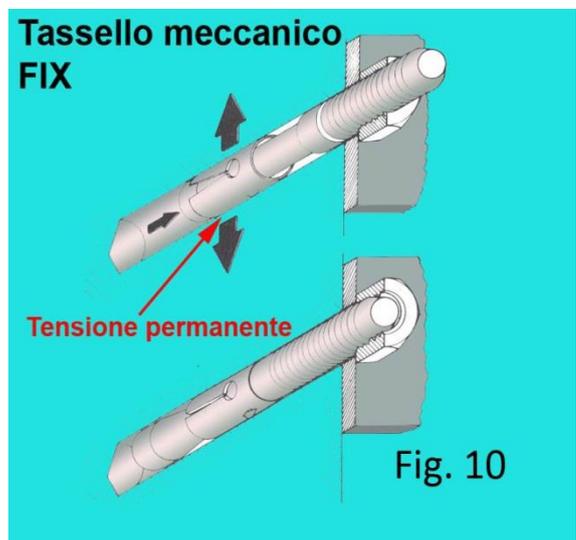


Fig. 10



Fig. 11

La parte resistente alla rottura nello Spit è il bullone che vi si avvita: l'acciaio che lo costituisce può essere scelto (nel nostro caso acciaio 12.9).

Da non dimenticare che si utilizzano soprattutto Spit MF8, dove il diametro del tassello si riduce, con conseguente diminuzione della forza d'estrazione relativa (2530 kgp contro 4100 kgp).

**Quinta valutazione: struttura dell'ancoraggio** – Il Fix Hilti HSA10 è il tassello che, costituzionalmente, ha minor resistenza all'estrazione (circa 3200 kgp) fra gli ancoraggi messi a confronto (Figura 10). Se fosse un Fix Hilti HSA8, il più utilizzato, la tenuta a estrazione si ridurrebbe a 2050 kgp.

Questa peculiarità negativa è conseguenza del fatto che il metallo con il quale è costruito non è paragonabile all'acciaio 12. 9 delle barre filettate e dei bulloni (si può salire a circa 4000 kgp con Fix di acciaio inox, tipo Upat).

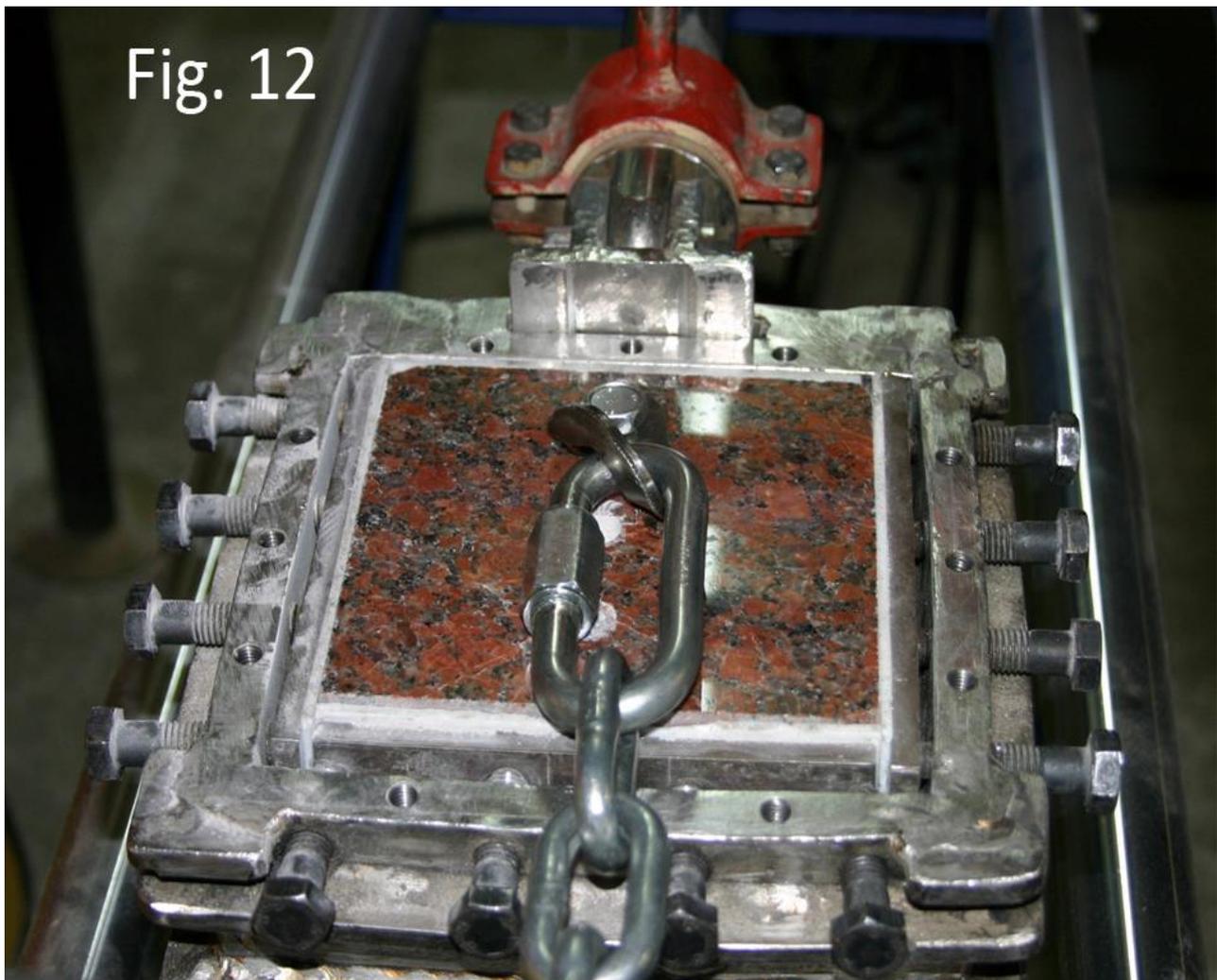
Inoltre, e questo è l'aspetto più grave, il corpo del tassello ha una marcata strozzatura (**Figura 11**) - dove sempre si produce il cedimento a estrazione – la cui sezione trasversale ridotta è causa di una diminuzione netta di  $F_{re}$ .

**Sesta valutazione: ancoraggi autofilettanti** – Il Multimonti Heco MMS 12x60 (diametro del corpo 10 mm) ha una tenuta a estrazioni di circa 4500 kgp, non di molto inferiore agli equivalenti ancoraggi resinati. Questo valore di  $F_{re}$  è sempre esorbitante rispetto ai criteri minimi di resistenza degli elementi della catena di sicurezza. Ciò è dovuto al fatto che la filettatura del Multimonti agisce lungo tutto il foro, come i resinati.

Anche utilizzando un Multimonti MMS 10x60 (diametro del corpo 8 mm) si ha una forza d'estrazione superiore ai 4100 kgp!

Dunque, tenuto conto della facilità e delle affidabilità della messa in opera dei Multimonti, si ritiene che questi siano la scelta migliore.

**Settima valutazione: le forze di rottura a taglio si equivalgono** – Risalta con evidenza nel grafico di pagina 15 che con sollecitazione a taglio (**Figura 12**, asse di trazione perpendicolare rispetto alla superficie de la roccia) il carico di rottura è di circa 4500 kgp.



Questo dato è la conseguenza del fatto che le barre filettate, zigrinate o scannellate hanno un diametro di 10 mm e sono costituite da acciaio di ottima qualità (12.9 e inox). A taglio l'adesione fra tassello e roccia nel foro ha poca influenza; quello che conta è la capacità di resistere alla flessione delle barre.

Il Fix HSA10 si differenzia: il metallo che lo costituisce è di qualità inferiore e deve essere accettato senza garanzie sulla sua tenuta alla rottura (come invece accade con bulloni e barre filettate (8.8 e 12.9). Per avere una sicurezza garantita occorre scegliere Spit in acciaio inox (ad esempio A4 della UPAT).

## Fori bagnati (2013 – 2018)

### Modalità di cedimento a estrazione delle barre filettate

**Test del 2013** (Laboratorio di Costacciaro - Associazione Italiana Canyoning) – In questi test, utilizzando le resine **HILTI RE 500**, **WURTH VIT PE 500** e **MUNGO MIT 600 RE**, le rotture a estrazione hanno prodotto le situazioni riportate in **Figura 4**, differenti da quanto accade con il foro asciutto (**Figura 5**).



Fig. 5

### Barre filettate dopo l'estrazione FORI BAGNATI

#### Secondo caso

Assenza di adesione della resina alla roccia:  
 $F_{re} = 145$  kgp che equivale ad una riduzione del 97 % rispetto al carico di rottura a estrazione con foro asciutto

Fig. 4

#### Primo caso

Parziale adesione della resina alla roccia:  
 $F_{re} = 1522$  kgp che equivale ad una riduzione del 62 % rispetto al carico di rottura a estrazione con foro asciutto



Con **HILTI RE 500** e **WURTH VIT PE 500** si è verificata la situazione "Secondo caso" di **Figura 4** con una adesione praticamente nulla fra resina e roccia e con riduzione della relativa forza  $F_{re}$  del 92,67 % e 95,06 % .

Mentre la riduzione per la **MUNGO MIT 600 RE** è stata del 68,52 % (**Figura 4**; "Primo caso"), con superficie d'estrazione di estensione variabile.

**Test del 2017-18** (Laboratorio di Villa Scirca – Gruppo di Studio Materiali e Tecniche SNS CAI – CCST CAI) – In questi test, eseguiti sulle resine **WURTH VIT EA 150** e **Berner Multi System Epoxi** la riduzione di carico all'estrazione è minore, registrando rispettivamente - 30,84 % e - 36,76 %, (situazione finale come rappresentata nella **Figura 4** "Primo caso").

E' dunque del tutto evidente che:

1. il foro bagnato ha un'influenza negativa sulla tenuta degli ancoraggi resinati, anche tale da annullarla quasi totalmente;

2. l'entità della riduzione della forza d'estrazione è aleatoria, senza alcuna possibilità, per ora, d'essere definita quantitativamente.

## Fori puliti/sporchi (2013)

(Laboratorio di Villa Scirca – Gruppo di Studio Materiali e Tecniche SNS CAI – CCST CAI)

Dai test eseguiti nel 2013 sulle resine **HILTI RE 500**, **WURTH VIT PE 500** e **MUNGO MIT 600 RE** per valutare l'influenza sulla resistenza dell'ancoraggio della pulizia (o meno) del foro nella roccia, risulta che quest'operazione non produce cambiamenti rilevabili sulle forze d'estrazione.

### Suggerimento: usare i tasselli autofilettanti (Multimonti)!

Volendo dare un suggerimento conclusivo che risolva in concreto il problema di come creare un ancoraggio resistente in modo adeguato e affidabile nella messa in opera, la risposta, visto quanto esposto in questa pubblicazione, è una sola: usate gli autofilettanti Multimonti al posto dei tasselli resinati.

I Multimonti hanno una resistenza alla rottura esorbitante come le barre filettate 12.9, ma una messa in opera semplice, veloce, senza incertezze (come quella derivante dalla disomogenea distribuzione della resina nel foro) e, soprattutto, senza l'incognita dell'influenza del foro bagnato.

**Attenzione:** su questi tasselli autofilettanti vengono fatte varie osservazioni e poste alcune riserve: “si arrugginiscono” o “si svitano” o “si rovina la filettatura” o ecc. ecc. Sono suggestioni di varia natura, frutto di pregiudizio e ignoranza.

Sono stati fatti numerosissimi test per verificare gli interrogativi posti e tutti hanno mostrato che il Multimonti mantiene inalterate le sue caratteristiche iniziali anche dopo 15 anni dalla prima messa in opera. In alcuni casi l'autofilettante era stato “svitato” e “riavvitato” più volte sullo stesso foro o su altri fori simili.

*Sempre a cura del Gruppo di Studio Materiali e Tecniche della Scuola Nazionale di Speleologia del Club Alpino Italiano è in via di completamento una ricerca teorica e sperimentale che mette a confronto gli autofilettanti della Heco (Multimonti) e altri tasselli simili di altre marche.*

Villa Scirca (Sigillo – PG)  
8 aprile 2020

Francesco Salvatori  
Coordinatore Gruppo di Studio  
Materiali e Tecniche SNS CAI