

Materiali per via ferrata alla prova

Dietro il divertimento di molti c'è un lavoro, volontario, di appassionati che si trovano a verificare, mantenere e riprogettare vie ferrate nel difficile equilibrio tra sostenibilità economica, facile reperibilità e durabilità dei materiali.

Il SAT di Trento illustra la sua esperienza di studio e collaudo dei materiali



A CURA DI LUCA BIASI*

La SAT (Società degli Alpinisti Tridentini) gestisce attualmente 125 sentieri attrezzati e 69 vie ferrate collocate sui monti della provincia di Trento. Si tratta nella maggior parte dei casi di tracciati storici e gli interventi di rinnovo e posa delle attrezzature un tempo erano progettati e realizzati inizialmente da soci pratici e volenterosi, le attrezzature stesse non erano confrontabili tra itinerari diversi. Nel 1993, vengono allegati al Bollettino SAT n. 2/93 tre pagine con indicazioni specifiche su materiali e loro fogge. Si iniziano a produrre in maniera standardizzata alcune tipologie di ancoraggio. A partire dal 2006 si avvia la vera e propria fase di studio, progettazione e collaudo dei materiali e delle tecniche di posa in opera e quindi, ottimizzati i dettagli costruttivi di alcuni elementi quali chiodi, staffe, fittoni etc., e si attivano proficue collaborazioni e convenzioni con svariati soggetti. Nel corso del 2012 la SAT viene convocata a fianco del CAI per assistere

e portare il proprio contributo nel corso della riunione del gruppo di lavoro CEN/TC 136-WG5, gruppo che ha il compito di definire la prima normativa europea in materia di vie ferrate (inizialmente denominata "Mountaineering and climbing equipment", chiusa ed entrata poi in vigore nel novembre 2017 con le specifiche EN 16.869 : 2017 - "Design/construction of Via Ferratas"). A partire già dalle prime fasi del nuovo progetto sui materiali da ferrata, al fine di garantire la tracciabilità e la qualità della fornitura dei materiali, è stato introdotto volontariamente una sorta di sistema di marchiatura, di schede tecniche, di indicazioni sul tipo di saldatura, di dati relativi all'operatore e sue certificazioni e abilitazioni etc. Inoltre, al lotto di produzione viene attribuito un numero progressivo, punzonato su ogni pezzo. Nell'aprile 2014 la SAT ha presentato presso la CCAA di Trento il modello di brevetto di utilità n. 281.445 per i suoi ancoraggi, manufatti e tecniche di posa in opera; l'avvenuta registrazione del modello è stata comunicata nel

maggio 2016. Oggi si considera che siano stati rinnovati in maniera uniforme e standardizzata quasi il 75% dei sentieri attrezzati e ferrate che la SAT ha in carico in Trentino. Si conta di terminare questa impegnativa e gravosa impresa nell'arco dei prossimi 3-4 anni.

CRITICITÀ DEI NUOVI MATERIALI

A chiusura dell'attività 2014 è stata effettuata un'analisi sulle eventuali criticità emerse in merito all'efficacia dei nuovi materiali. Si è registrato un piccolo numero di rotture a taglio per alcuni ancoraggi. Dall'esame dei rapporti, su 42 eventi segnalati in 24 casi come causa della rottura del manufatto si indicava neve, caduta sassi e fulmini, mentre 18 non erano classificati. È ormai riconosciuto il fatto che la quasi totalità degli eventi a carico di chiodi di testa o intermedii si manifesta nel corso dell'inverno, quando il carico da neve e le valanghe sottopongono i materiali a sollecitazioni per resistere alle quali sarebbe necessario operare un dimensionamento che comporta il lievitare dei costi e tecnicamente non risulta realizzabile viste, le condizioni di posa in opera.

Il materiale principale con il quale vengono realizzati gli ancoraggi indagati è la barra d'armatura tipo B450C, nei diametri 18 mm e 30 mm. Il procedimento produttivo prevede la laminazione a caldo del materiale, seguito dal trattamento termico TEMPCORE® in tutta la sua lunghezza. Il raffreddamento rapido mediante getto d'acqua, infatti, fa in modo che la barra si raffreddi solo in superficie e quindi, posta su un

"tappeto" di raffreddamento, abbia tempo di subire una tempratura grazie al calore accumulato nel cuore. Si definisce quindi un sottile strato superficiale di martensite dura e fragile, mentre la zona centrale assume una struttura composta da perlite e ferrite a grano fine, molto duttile. A completamento e preparazione finale dei manufatti metallici si provvede infine all'applicazione esterna di una protezione anticorrosiva, mediante processo standardizzato di zincatura a caldo. Nel corso delle analisi metallografiche sulle barre degli ancoraggi di recente produzione si è osservato che, come atteso, la microstruttura varia tra il bordo e il centro. La zincatura è risultata nella norma, ben adesiva all'acciaio sottostante e riempie, ove presenti, piccole depressioni e/o cricche superficiali. Analizzando la sezione metallografica di una barra prima della zincatura, sono state notate alcune cricche di lunghezza variabile tra 50 e 300 µm (1 µm = 1 millesimo di millimetro); si presentano come "strappi", la cui presenza è attesa e compatibile con il processo di laminazione. Potrebbero essere una delle cause di innesco della frattura, soprattutto se abbinate alla presenza del sottile strato martensitico superficiale che, come tale, è caratterizzato rispetto al cuore da maggior durezza ed inferiore duttilità. Questo potrebbe esporre il chiodo a deformazioni e rotture più probabili a basse temperature.

CONFRONTO CON I VECCHI ANCORAGGI

Dall'analisi di una sezione di un chiodo prodotto nel 2007, posto in opera a circa 2700 m di quota, è risultata evidente la microstruttura non omogenea: martensitica in superficie, poi bainitica ed infine ferro/perlitica al cuore. Anche la microdurezza cambia di pari passo, diminuendo dalla superficie verso il cuore, come è logico aspettarsi. La comparazione tra la barra non zincata e quella zincata, rotta e recuperata

Società Alpinisti Tridentini

Le vie ferrate gestite da SAT sono nella gran parte dei casi di tracciati storici, alcuni risalenti alla Grande Guerra e poi revisionati e adattati nel corso dei decenni successivi. Lo sviluppo complessivo supera i 1.128 km, mentre quello delle attrezzature fisse (funi, scale, staffe etc.) oggi è di circa 28.194 m complessivi. Da anni la SAT è impegnata nella costante attività di controllo, manutenzione e rilievo dei sentieri attrezzati e vie ferrate, consolidando e affinando le tecniche di intervento, e proseguendo nella ricerca e nello studio di materiali sempre più performanti, tecniche più risolutive, pratiche economicamente sostenibili, ma soprattutto rispettose dell'ambiente e sicure.

rata dalla ferrata nonché la verifica eseguita su altre barre simili, permette inoltre di concludere inoltre che la zincatura non ha modificato negativamente le caratteristiche della barra. Sono stati recuperati ed analizzati anche alcuni vecchi ancoraggi (chiodi) forgiati a mano o ricavati da barre da armatura e risalenti ai primi anni del '900 e al periodo 1950-1960; tutti i campioni sono privi del trattamento TEMPCORE® (introdotto a partire dagli anni '70 del secolo scorso): si sono riconosciute tipiche microstrutture ferritico-perlitiche omogenee in tutta la sezione. Dai risultati emersi, si è indotti a valutare che, a fronte di un maggior numero di cedimenti per deformazione plastica, tali acciai più datati abbiano dimostrato negli anni una tendenza a presentare meno rotture. Questa constatazione ha dimostrato che la microstruttura ferritico-perlitica era sicuramente una condizione positiva ai fini della durabilità dei manufatti.

QUALE MATERIALE PER I NUOVI ANCORAGGI?

La SAT si è concentrata sul problema di ottimizzare la struttura dell'acciaio da utilizzare, considerando che per non inficiarne l'uso, doveva avere una struttura microcristallina omogenea, essere costituito da ferrite-perlite, avere abbondante reperibilità commerciale e caratteristiche geometriche adeguate, senza presentare la struttura martensitica in superficie. Se si volessero utilizzare acciai commercialmente più diffusi, si dovrebbe optare per quelli da carpenteria o per strutture metalliche, ma le barre in questo caso non hanno le nervature super-

LE ROTTURE A TAGLIO DEGLI ANCORAGGI

Dall'analisi dei pezzi ordinati e posti in opera tra il 2006 e il 2014 sono stati ottenuti i risultati che vengono di seguito esposti in Tabella 1.

codice	descrizione	N° posti in opera	N° rotte	%
CR	chiodi tipo "testa" - estremità di tratta	1.858	19	1 %
CO	chiodi tipo "tratta orizzontale"	4.363	80	1,8 %
CV	chiodi tipo "tratta verticale"	1.286	5	0,39 %
ST	staffa	1697	2	0,12 %
FC	fittoni da cresta	955	2	0,21%
BR	barre di controvento	1655		
SC	scale metalliche	5		
FN	funi in acciaio	metri 15.500		

Tabella 1.



ficiali, essenziali per garantire una buona adesione con la roccia. Si è cercato allora di eliminare gli effetti del trattamento TEMPCORE®, sfruttando un processo di semplice trattamento termico delle barre originali B450C. Oltre ad ottenere un materiale con microstruttura omogenea, perlite e ferrite su tutta la sezione, con il trattamento termico (come il rinvenimento, la bonifica e la ricottura) la grana si affina e aumenta la resilienza del materiale, ovvero la sua capacità di resistere a carichi impulsivi. Senza essere intervenuti sulla composizione chimica del materiale si è comunque ottenuto come effetto desiderato quello di modificare la temperatura critica alla quale si ha la transizione tra comportamento fragile e duttile: il metallo ha ora una maggiore capacità di resistere agli urti impulsivi anche a basse temperature.

I TEST DISTRUTTIVI E LA RESILIENZA

Individuato il produttore dell'acciaio e l'impianto presso il quale fare eseguire il trattamento termico (processo di normalizzazione N920, ovvero riscaldamento a 920 °C), si è sottoposto a varie prove distruttive alcuni campioni trattati completamente, cercando di individuarne i valori di tensione di snervamento (Rp02), tensione di rottura (Rm), allungamento (A) e resilienza a temperature comprese tra - 20°C e + 20 °C. Nello specifico si voleva indagare se il materiale in esame possedeva caratteristiche migliorative rispetto al B450C vergine ed almeno pari a quelle degli acciai da costruzione (es. S355J2). Sono stati ricavati una serie di provini a norma per determinare il valore della resilienza (R) come da UNI EN ISO 148:1-2011. I provini sono stati sottoposti a test distruttivo, presso il Laboratorio Prove sui Materiali della PAT, al fine di determinare il valore della grandezza R in diverse condizioni di esercizio e, in aderenza a quanto previsto anche dalla normativa,

il campo di analisi è variato, con diversi step, da temperature di - 20° C a +20 °C.

Per acciai da costruzione la norma prevede i seguenti valori attesi:

- **temperatura -20°C (R= 27 J), per il metallo S275J2**
- **temperatura -20°C (R= 20 J), per il metallo S355J2.**

I valori sia singoli che medi riscontrati a seguito della prova hanno sempre ed ampiamente soddisfatto le premesse e nella media si è registrato quanto segue:

- **temperatura -20°C (R= 33 J)**
- **temperatura ambiente (R= 46 J)**

STUDIO DEL DISEGNO DELLE STAFFE

In parallelo a tale ricerca sono stati rideterminati alcuni parametri nel disegno dei singoli manufatti ed in particolare, per prevenire eventuali problemi dovuti al piegamento delle barre, sono stati aggiornati (incrementandoli leggermente) i raggi di curvatura dei gomiti dei chiodi distanziatori di tipo verticale e delle staffe. Si è nuovamente approfondito l'aspetto dell'azione dei carichi e del comportamento a fatica dei manufatti a seguito dell'azione dinamica del vento su una fune libera, in funzione della diversa velocità del vento stesso. Al fenomeno di base si è aggiunta l'azione e le ripercussioni generali dovute alla presenza di manicotti (incrementandoli leggermente) i raggi di curvatura dei gomiti dei chiodi distanziatori di tipo verticale e delle staffe. Si è nuovamente approfondito l'aspetto dell'azione dei carichi e del comportamento a fatica dei manufatti a seguito dell'azione dinamica del vento su una fune libera, in funzione della diversa velocità del vento stesso. Al fenomeno di base si è aggiunta l'azione e le ripercussioni generali dovute alla presenza di manicotti (incrementandoli leggermente) i raggi di curvatura dei gomiti dei chiodi distanziatori di tipo verticale e delle staffe. Si è nuovamente approfondito l'aspetto dell'azione dei carichi e del comportamento a fatica dei manufatti a seguito dell'azione dinamica del vento su una fune libera, in funzione della diversa velocità del vento stesso. Al fenomeno di base si è aggiunta l'azione e le ripercussioni generali dovute alla presenza di manicotti (incrementandoli leggermente) i raggi di curvatura dei gomiti dei chiodi distanziatori di tipo verticale e delle staffe.

PROVE DI SNERVAMENTO E ROTTURA DELLE BARRE

A fine primavera 2016 si è potuto completare le prove di estrazione di barre inghisate in roccia utilizzando sei spezzoni di barra B450C normalizzato, scegliendo due differenti

Sigla campione	Rp02 (kN) tensione snervamento	Rm (kN) tensione rottura	Fy (N/mm ²)	Ft (N/mm ²)
DP1-15	135	-	531,5	-
DP2-15	99	112,5	389,8	442,9
DP3-15	112,5	135	442,9	531,5
P1-15	126	-	496,1	-
P2-15	117	-	460,6	-
P3-15	-	128,5	-	504,9
		valori medi	464,2	493,1

Tabella 2.



Prove di snervamento e rottura delle barre

siti con substrati lapidei diversi: dolomia principale compatta (sigla prove DP1, DP2, DP3) il primo, rocce vulcaniche (ignimbriti) nel secondo (sigla prove P1, P2, P3). La scheda tecnica prodotta e pubblicata nel 2015 dalla ditta Fischer circa il sistema ad iniezione FIS V/FIS V-BOND e FIS EM relativo all'inghisaggio di barre di armatura B450C (barre con tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$ e tensione caratteristica di rottura $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$) riporta i carichi di progetto e ammissibili a trazione per una singola barra post-installata in calcestruzzo C20/25. In relazione alle barre di diametro 18 mm specificano il diametro del foro (25 mm) e la profondità massima di inghisaggio (1.800 mm). Per tale assetto in calcestruzzo fessurato o non fessurato viene riportato: **carico di progetto a trazione NRd,s = 99,6 kN** **carico ammissibile a trazione**

Namm,s = 71,1 kN

Riprendendo ora i risultati registrati nel corso delle prove e calcolando a quale tensione sono state sottoposte di volta in volta le barre, riportando i valori registrati a valori di tensione espressi in funzione di kN/mm², si ottiene quanto segue in **Tabella 2.**

Per quanto riguarda i risultati puri delle prove di estrazione, si evidenzia innanzitutto l'ottimo comportamento macroscopico dell'ancorante chimico utilizzato: sebbene il substrato di inghisaggio non sia calcestruzzo ma roccia (materiale non contemplato nelle schede tecniche né Fischer né di altri produttori), risulta che i valori di carico registrati nel corso delle prove soddisfano spesso ampiamente sia quelli di progetto che quelli ammissibili esposti dal produttore; in un caso tali valori sono più elevati di quasi il 35%. Il prossimo lavoro di cui SAT si occuperà sarà lo studio e l'armonizzazione con la recente normativa sulla progettazione e costruzione di vie ferrate, EN 16.869:2018-01, (Design/construction of Via Ferratas), pubblicata in novembre 2017 ed in vigore dal 01/01/2018, con la UNI EN 958:2017-05 (Attrezzatura per alpinismo - Sistemi di assorbimento di energia utilizzati nelle ascensioni per via ferrata - requisiti di sicurezza e metodi di prova) e con il D. Lgs. 16 giugno 2017, n. 106 in tema di marcatura CE di prodotti da costruzione.

*COMMISSIONE SENTIERI SAT - 2017-18

Carichi di rottura degli elementi della ferrata

È interessante valutare e paragonare i valori di carico di rottura dei vari elementi della struttura "ferrata":

- funi diametro 12 mm, AZ 114 F, AM: 102 kN

- cavallotti dei morsetti: 50 kN

- moschettoni da ferrata tipo K: 22 kN

I dissipatori di energia (EN 958) devono infine abbassare il carico trasmesso al nostro corpo fino al valore di 6 kN, carico massimo che, a causa della nostra caduta e del nostro corpo, si può di conseguenza trasferire alle strutture.

RINGRAZIAMENTI

Un doveroso ringraziamento va rivolto a tutte le persone che a vario titolo e con disponibilità, entusiasmo e competenza ci hanno seguiti, e continuano a supportarci, in questo lungo e delicato percorso; nella speranza di non dimenticare nessuno ricorderò il prof. ing. Massimo Pelizzari, ing. Cinzia Menapace e ing. Marco Caszoli, Laboratorio di metallurgia, Dipartimento di ingegneria industriale, Università degli studi di Trento, dott. ing. Franco Carlin, dott. ing. Stefano Gasperetti, dott. ing. Daniele Sartorelli liberi professionisti, dott. ing. Fabio Degasper, p.i. Ettore Pedrotti e ing. Thomas Bartolamedi e collaboratori del Laboratorio tecnologico impianti a fune della PAT (LATIF), geom. Giovanni Maccani e collaboratori del Laboratorio prove sui materiali della PAT, p.i. Fabio Pedrizzoli del Laboratorio di Geotecnica del Servizio Geologico PAT, Tarcisio Deflorian e Ivo Ceolan, presidenti della Commissione Sentieri della SAT, Giuliano Bressan, ing. Vittorio Bedogni e ing. Carlo Zanantoni del CAI (Centro studi materiali e tecniche e rappresentanti italiani nella Safety Commission WGS per la norma EN 16896:2018-01), p.i. Angelo Segatta per la Carpenteria Coop. Il Gabbiano Scari, ing. Fabio Bianchetti, IRO SpA di Brescia e p.i. Roberto Micheli, BTT Srl di Brescia.