



Caratterizzazione di laboratorio mirata all'analisi delle prestazioni di fili diamantati per il taglio di materiali carbonatici

di Nicola Auletta¹, Stefano Bianchini², Marilena Cardu^{1,3}, Pietro Fresia¹

¹DIATI- Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, Politecnico di Torino

²Ingegnere Minerario, Carrara

³IGG-CNR, Torino

ABSTRACT

Nel corso degli anni il filo diamantato è stato oggetto di molteplici miglioramenti ed ottimizzazioni, grazie ai quali ha avuto luogo una delle più grandi rivoluzioni nel settore lapideo. Tuttavia, il suo impiego è ancora oggi causa di infortuni, talora mortali, a seguito dell'apertura del circuito durante il taglio, con conseguente colpo di frusta e proiezione ad elevate velocità degli elementi che lo compongono. Il presente lavoro è focalizzato sullo studio di alcune possibili cause di rottura del filo diamantato, da quelle note, tra cui sfilamento del cavo di supporto dal morsetto di giunzione e rottura del cavo in prossimità del morsetto, a quella, osservata in cave del Bacino di Carrara durante analisi effettuate in sito, di rottura dello stesso morsetto di giunzione.

Ai fini di contribuire a migliorare il livello di sicurezza in

cava, sono state condotte prove di trazione statica presso i laboratori "Marmotest s.a.s." di Carrara e DISEG del Politecnico di Torino su elementi di filo, in particolare morsetti di giunzione, pressatori e cavo di supporto, forniti dall'azienda costruttrice di fili diamantati "Megadiamant S.r.l.", riproducendo configurazioni e scelte tecnologiche osservate direttamente in cantiere e valutando la conformità con la norma europea di riferimento UNI EN 13236:2016 ("Requisiti di Sicurezza per i prodotti superabrasivi").

Il 100% dei pressatori e più del 90% dei morsetti di giunzione sottoposti a test di sfilamento hanno rispettato il valore limite imposto dalla norma di riferimento.

Per questi ultimi, a determinare la resistenza a sfilamento contribuiscono principalmente tre fattori: il tipo di materiale, la lunghezza dei morsetti di giunzione e il loro spessore. Nonostante le ricerche condotte, non sono disponibili

Laboratory characterization aimed at analyzing the performance of diamond wires for marble cutting

by Nicola Auletta¹, Stefano Bianchini², Marilena Cardu^{1,3}, Pietro Fresia¹

¹DIATI- Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, Politecnico di Torino

²Mining Engineer, Carrara

³IGG-CNR, Torino

ABSTRACT

Over the years the diamond wire has got many improvements and optimizations, thanks to which one of the greatest revolutions in the stone industry took place. However, its use is still the cause of injuries, sometimes fatal, following the opening of the loop during cutting, with consequent whiplash and high-speed projection of its elements.

The present work is focused on the study of some possible causes of diamond wire breakage, from those known, including slipping of the support cable from the junction clamp and cable break near the clamp, to that, observed in

quarries of the Carrara Basin during on-site analyzes, of breaking the same junction clamp.

To help improving the safety level in the quarries, tensile tests were carried out at the "Marmotest s.a.s." laboratories of Carrara and DISEG of the Politecnico di Torino on wire elements, in detail junction clamps, pressing devices and support cable, supplied by the "Megadiamant Srl" manufacturer of diamond wires, reproducing configurations and technological choices observed on site and assessing compliance with the European reference standard UNI EN 13236:2016 ("Safety Requirements for superabrasive products").

documenti tecnici che riportano la composizione chimica dei materiali con cui sono realizzate le giunzioni ma, in generale, i morsetti commercializzati come rame (o, più propriamente, acciaio al rame) e acciaio ricotto hanno fornito resistenze a sfilamento maggiori rispetto a quelli in acciaio. Inoltre, la resistenza a sfilamento è legata alla lunghezza del morsetto da una proporzionalità diretta, ed al suo spessore da una proporzionalità inversa.

L'acqua per il raffreddamento del filo diamantato durante il taglio può non essere impiegata correttamente o essere limitata da problemi ambientali.

Per questo lo studio della resistenza a sfilamento dei morsetti in rame e in acciaio si è esteso, includendo la variazione delle loro proprietà all'aumentare della temperatura. Infine, il deterioramento delle caratteristiche meccaniche del filo diamantato in seguito al taglio è stato misurato eseguendo prove di trazione su elementi usati.

1. INTRODUZIONE

L'evoluzione tecnologica nel settore lapideo ha comportato un progressivo aumento della produzione di marmo nel

consorzio apuano, riducendo i tempi delle fasi di scavo e garantendo una migliore qualità del prodotto.

Una delle conseguenze più evidenti è stata la riduzione drastica del numero di addetti in cava: dei 9000 lavoratori del XIX Secolo, oggi se ne contano circa 800; per contro, la produttività annua/addetto è passata da circa 80 t a oltre 1000 t (Coli et al., 2002; Lovera, 2001).

Inoltre, analizzando il periodo 1950-2010, si nota un significativo incremento della produttività a partire dal 1976: ciò è imputabile alla diffusione del filo diamantato nelle cave apuane. Ad oggi, la produttività si attesta intorno a 1.400.000 t/anno (immacarrara.com), ed è interessante osservare la progressiva espansione areale dell'attività estrattiva, che ha raggiunto una densità di 0,33 cave/km² (Coli et al., 2002).

In particolare, l'evoluzione delle tagliatrici a filo diamantato ha consentito, come accennato, un incremento della produttività sia nelle operazioni di taglio al monte sia in quelle di riquadratura dei blocchi sul piazzale (Lovera, 2001). Le fasi di preparazione del taglio consistono, come noto, nella perforazione di due fori complanari ed ortogonali, in



Fig.1a Foto aerea della Cava Michelangelo; è chiaramente visibile la configurazione a gradino diritto per fette orizzontali discendenti
Aerial picture of the Michelangelo Quarry; the exploitation by horizontal descending benches is clearly noticeable (Photo P. Fresia)



Fig.1b Cava Fantiscritti. In posizione centrale si osserva un pilastro, lasciato in posto a sostegno dei vuoti di coltivazione
Fantiscritti Quarry. A pillar is observed in central position, left in place to support the chambers resulting from the exploitation (Photo P. Fresia)

100% of pressing devices and more than 90% of junction clamps subjected to slip tests have respected the limit value imposed by the reference standard.

For the latter, three factors mainly contribute to the slip resistance: the type of material, the length of the junction clamps and their thickness.

Despite the research carried out, no technical documents are available regarding the chemical composition of the materials with which the joints are made but, in general, the clamps marketed as copper (or, more properly, copper steel) and annealed steel have provided greater extraction resistances than those in steel. Furthermore, the slip resistance is linked to the length of the clamp by direct proportionality, and its thickness by inverse proportionality.

The water for cooling the diamond wire during cutting may not be used correctly or be limited by environmental problems. For this reason, the study of the slip resistance of copper

and steel clamps has been extended, including the variation of their properties to temperature increase.

Finally, the deterioration of the mechanical characteristics of the diamond wire following the cutting was measured by performing tensile tests on used elements.

1. INTRODUCTION

The technological evolution in the stone sector has led to a progressive increase in the production of marble in the Apuan quarries, reducing the time required for excavation and guaranteeing a better quality of the products.

One of the most obvious consequences was the drastic reduction in the number of employees in the quarries: of the 9,000 workers in the nineteenth century, they are about 800 today; on the other hand, the annual productivity/employee has increased from about 80 t to over 1000 t (Coli et al., 2002; Lovera, 2001).



cui è inserito il filo, a sua volta chiuso "a cappio" (configurazione standard) intorno al volano motore della tagliatrice che, retrocedendo, lo mette in tensione.

Il filo passa intorno al volano, in una scanalatura rivestita in gomma ed è, in genere, guidato da due pulegge "folli" di alluminio con diametro di 300 mm, montate anteriormente al volano per aumentare la tensione.

Per evitare danni da possibili colpi di frusta e proiezione delle perline in caso di rottura del filo, il gruppo volano-motore è dotato di un carter di protezione; la parte di filo esposta è protetta durante il taglio da un nastro di fibre composite, posto a distanza di circa 50 cm, largo 50 cm e di lunghezza generalmente non superiore a 20 m, che viene svolto da un rullo posto al di sopra del volano-motore, grazie ad un motorino idraulico. Si cerca, in tal modo, di intercettare la traiettoria del filo e degli elementi che lo compongono, che potrebbero essere lanciati in caso di apertura del circuito (Fresia, 2019).

2. IL FILO DIAMANTATO

Il filo diamantato è l'organo di taglio della tagliatrice a filo e, nella versione standard, è costituito da un cavo d'acciaio zincato di 5 mm di diametro, formato da trefoli nelle configurazioni a 61 fili (6x7+19), a 84 fili (6x12+18) e 133 fili (7x19) (metalfuni.it; cablesteel.it; UNI EN 12385-2:2008: "Funi di acciaio - Sicurezza - Parte 2: Definizioni, designazione e classificazione") avvolti ad elica, di acciaio

ultra-flessibile, con lo scopo di assorbire le sollecitazioni statiche e dinamiche. Una serie di elementi, aventi ognuno funzione diversa, sono inseriti nel cavo metallico, come mostrato in Fig.2:

□ perline diamantate: sono distribuite uniformemente in numero variabile da 28 a 34 perline/m, e sono responsabili della disgregazione della roccia per mezzo di microutensili striscianti (diamanti);

□ molle distanziatrici: elementi spiraliformi in acciaio interposti tra due perline successive, con diametro esterno di 8 mm; permettono l'ammortizzazione degli urti e una protezione del cavo durante gli strisciamenti;

□ distanziali: segmenti di tubicini metallici, di lunghezza 4-5 mm e diametro esterno uguale a quello delle molle, che consentono la corretta disposizione delle perline attorno al cavo;

□ fermi (o pressatori): anelli metallici pressati sul cavo in modo da impedire lo sfilamento delle perline in caso di rottura del cavo;

□ morsetti di giunzione: connettori metallici che consentono la chiusura ad anello del filo, oppure la connessione di spezzoni di cavo, per raggiungere la lunghezza necessaria ad effettuare il taglio della bancata (Lovera, 2001). Sono realizzati in rame e acciaio, di lunghezza compresa tra 20 mm e 30 mm (su richiesta anche 35 mm) e diametro interno ed esterno rispettivamente di 4-5 mm e 8-9 mm. I morsetti di giunzione rappresentano la porzione a mag-

Furthermore, analyzing the period 1950-2010, a significant increase in productivity starting from 1976 can be noticed: this is attributable to the spread of the diamond wire in the Apuan quarries.

To date, the productivity is around 1,400,000 t/year (imm-carrara.com), and it is interesting to observe the progressive expansion in the mining activity, which has reached a density of 0.33 quarries/km² (Coli et al., 2002).

Fig.1a and 1b show some quarry scenarios, respectively open-pit and underground. The evolution of diamond wire cutting machines has allowed, as mentioned, an increase in productivity both in primary cutting operations and in squaring operations on the quarry yard (Lovera, 2001).

The steps consist, as well known, in drilling two coplanar and orthogonal holes, where the wire is inserted, and closed "with a loop" (standard configuration) around the flywheel of the cutting machine which, retreating, puts the wire in tension.

The wire passes around the flywheel, in a rubber-lined groove, and is generally guided by two "idle" aluminum pulleys with a diameter of 300 mm, mounted in front of the flywheel to increase tension. To prevent damage from possible whiplash and projection of the beads in case of wire breakage, the flywheel-engine group is equipped with a protective cover. The exposed part of wire is protected during cutting by a composite fiber ribbon, placed at a distance of about 50 cm, 50 cm wide and generally does not exceed the length of 20 m,

which is unwound by a roller placed above the flywheel-engine, thanks to a hydraulic motor. In this way, the trajectory of the wire and of its elements, which could be launched in case of the circuit being opened (Fresia, 2019), is intercepted.

2. THE DIAMOND WIRE

The diamond wire is the cutting device of the wire cutting machine and, in the standard version, consists of a galvanized steel cable 5 mm in diameter, formed of strands in 61-wire configurations (6x7 + 19), 84 wires (6x12 + 18) and 133 wires (7x19) (metalfuni.it; cablesteel.it; UNI EN 12385-2:2008: "Steel cables - Safety - Part 2: Definitions, designation and classification") wrapped on an helix winding, made of ultra-flexible steel, with the aim of absorbing static and dynamic stresses.



Fig.2 Configurazione standard del filo diamantato con assemblaggio asimmetrico
Standard configuration of the diamond wire with asymmetrical assembly
(www.diamantboart.com)



gior rigidità del filo diamantato, pur dovendo percorrere circuiti curvilinei con raggi di curvatura variabili; sono pertanto noti come punti deboli, dovendo resistere a cicli di sforzi flessionali. Alcuni morsetti di giunzione sono stati oggetto di prove di laboratorio (descritte in seguito), i cui risultati hanno tentato di fornire un contributo per valutarne la tipologia e la dimensione migliore ad impedire l'apertura del cappio durante il taglio della roccia.

Nella configurazione tradizionale descritta, tutti gli elementi che compongono il filo sono a contatto con l'esterno, ma solo le perline, in condizioni ottimali di lavoro, sono a contatto con il materiale lapideo.

Il filo "rivestito" nasce in seguito all'esigenza di adattare la tecnica anche al taglio di rocce silicatiche, in quanto l'abrasività dei detriti ad alta percentuale di silice prodotti durante il taglio comportavano un'usura rapida del cavo tradizionale. Il problema è stato risolto realizzando fili plastificati (Fig.3a) o gommati (Fig.3b).

Il filo rivestito è utilizzato anche nel taglio di materiali carbonatici per motivi di sicurezza, in particolare per limitare il problema della rottura del cavo, sfruttando la guaina protettiva come ancoraggio delle perline ed impedire la loro proiezione a velocità elevate (esse possono raggiungere 500 km/h, considerando che la velocità del filo durante il

taglio è di circa 40 m/s - UNI EN 15163:2015: "Macchine e impianti per l'estrazione e la lavorazione delle pietre naturali - Sicurezza - Requisiti per le tagliatrici a filo diamantato").

La carenza o, peggio, l'assenza di irrorazione d'acqua sul filo durante il taglio può causare un indebolimento del materiale di rivestimento a causa dell'aumento di temperatura (fino a 60°) dovuto all'attrito tra l'organo di taglio e la roccia (Comitato Paritetico Marmo, 2000).

Nel filo tradizionale, le molle consentono un trasporto di acqua refrigerante più omogeneo all'interno del blocco, a differenza di quanto accade nel filo gommato o plastificato, in cui esse sono "annegate" nel materiale di rivestimento.

3. PROVE DI LABORATORIO

Le prove descritte nel seguito sono state eseguite, in conformità alla norma europea UNI EN 13236:2016, presso il laboratorio "MarmoTest s.a.s." di Carrara, mentre il materiale utilizzato è stato fornito dall'azienda costruttrice di fili diamantati "Megadiamant S.r.l.".

La strumentazione utilizzata consta di: una pressa idraulica servo-controllata modello MT tipo BP, collegata e gestita da un sistema di controllo basato su una piattaforma "CompactRIO"; una cella di carico di tipo Allemano serie



Fig.3a Filo diamantato plastificato (www.megadiamant.com).

Il rivestimento degli elementi del filo è ottenuto mediante iniezione di una resina termoplastica ad alta pressione e resistente all'usura
Plasticized diamond wire (www.megadiamant.com).

The coating of the wire elements is obtained by high-pressure injection of a wear-resistant thermoplastic resin



Fig.3b Filo diamantato gommato (www.megadiamant.com).

Il rivestimento è ottenuto mediante una miscela polimerica gommosa
Rubberized diamond wire (www.megadiamant.com).

The coating is obtained by a rubbery polymer mixture

A series of elements, each having a different function, are inserted in the steel cable, as shown in Fig.2:

□ diamond beads: they are uniformly distributed in a variable number from 28 to 34 beads/m, and are responsible for rock cutting by means of micro-tools (diamonds);

□ spacer springs: spiral steel elements placed between two successive beads, with an external diameter of 8 mm; they allow shock absorption and protection of the cable during sliding;

□ spacers: segments of metal tubes, 4-5 mm long and with the same external diameter as the springs, which allow the correct arrangement of the beads around the cable;

□ latches (or pressers): metal rings pressed on the cable in order to prevent the beads from slipping in case of cable breakage;

□ junction clamps: metal connectors that allow the loop to be closed, or cables to be connected, to reach the required length to cut the bench (Lovera, 2001). They are made of copper and steel, with a length between 20 mm and 30 mm (on request also 35 mm) and internal and external diameter of 4-5 mm and 8-9 mm respectively. The junction clamps represent the portion with the greatest rigidity of the diamond wire, although it must run along curvilinear circuits with

variable curvature radii; they are therefore known as weak points, having to withstand cycles of flexural stresses.

Some junction clamps have been subjected to laboratory tests (described below), the results of which have attempted to provide a contribution to assess the best typology and size to prevent the loop from being opened when cutting the rock.

In the traditional configuration described, all the elements making up the wire are in contact with the outside, but only the beads, in optimal working conditions, are in contact with the rock mass.

The "coated" wire was created as a result of the need to adapt the technique also to the cutting of hard rocks, since the abrasiveness of the high percentage of silica debris produced during cutting led to a rapid wear of the traditional cable. The problem was solved by realizing plasticized (Fig.3a) or rubberized wires (Fig.3b).

The coated wire is also used in cutting carbonate materials for safety reasons, above all to limit the problem of cable breakage, exploiting the protective sheath as an anchor for the beads and preventing their projection at high speeds (they can reach 500 km/h, considering that the wire speed during cutting is about 40 m/s - UNI EN 15163:2015:



TCE in acciaio inox, con carico nominale massimo di lettura 2,5 t e sensibilità nominale, in termini di tensione, di 2 mV/V (la linearità dello strumento è dello 0,03%, che corrisponde a circa 0,75 kg); un sistema di acquisizione per la lettura delle misure della cella di carico.

Il trasferimento dei dati al computer per la visualizzazione dei risultati delle prove avviene in ambiente di programmazione LabView, attraverso un approccio grafico (www.ni.com).

3.1 Prove sui pressatori

Le prove sono state condotte su pressatori sia nuovi, sia usati, in acciaio e acciaio "ricotto", con diametro interno ed esterno rispettivamente 5,2 mm e 9 mm.

Lo scopo è stato quello di individuare la soluzione migliore ad evitare il problema dello sfilamento, con conseguente proiezione di perline, molle e distanziali a velocità e distanze elevatissime. Inoltre, si è voluto verificare se, in seguito al taglio, tali elementi sono soggetti ad usura, con diminuzione della resistenza a sfilamento sotto una forza di trazione statica.

I materiali utilizzati per le prove constano di:

- cavi d'acciaio zincato (con tenore di carbonio compreso fra 0,4 e 0,72%) forniti dall'azienda "Megadiamant S.r.l." di due tipologie, entrambe con 61 fili (trefoli del tipo 6x7+19), con carico di rottura minimo garantito tra 17,65 kN e 18,55 kN (UNI EN 12385-1:2009: "Funi di acciaio - Sicurezza - Parte 1: Requisiti generali") e diametro della fune

rispettivamente 4,85 mm e 4,9 mm; la lunghezza del cavo impiegato per ogni prova è di circa 50 cm;

- una pressa idraulica di tipo HT45, munita di valvola di massima pressione (pressione nominale di esercizio = 600 bar), adatta all'installazione di conduttori elettrici (fino a 150 mm²) a compressione (cembre.com);

- morsetti per funi impiegati per chiudere ad asola il cavo;

- cilindro d'acciaio, impiegato per bloccare il pressatore. Il diametro interno è 5 mm, per consentire il passaggio del cavetto di acciaio, e il diametro esterno varia da 20 mm a 30 mm.

Prima della prova, il pressatore viene compresso radialmente sul cavetto (Fig.4) fino a superare il suo carico di snervamento a compressione (Nicodemi, 1986); il campio-



Fig.4 Pressatore compresso sulla fune
Presser compressed on the rope

"Machines and plants for exploitation and processing of natural stones - Safety - Requirements for diamond wire cutting machines").

The lack or, worse, the absence of water spraying on the wire during the cut can cause a weakening of the coating material due to the temperature increase (up to 60°), due to the friction between the cutting device and the rock (Joint Committee Marble, 2000). In the traditional wire, the springs allow a homogeneous cooling water flow inside the block, unlike in the rubberized or plasticized wire, where they are "drowned" in the coating material.

3. LABORATORY TESTS

The tests described below were carried out, in compliance with the European standard UNI EN 13236:2016, at the "MarmoTest s.a.s." laboratory in Carrara, whereas the material used was supplied by the diamond wire manufacturer "Megadiamant S.r.l."

The instrumentation consists of: a BP type model servo-controlled hydraulic press, connected and managed by a control system based on a "CompactRIO" platform; a load cell of the Allemano TCE series in stainless steel, with a maximum rated load of 2.5 t and nominal sensitivity, in terms of voltage, of 2 mV/V (the linearity of the instrument is 0.03%, which corresponds to at about 0.75 kg); an acquisition system, for reading the measurements of the load cell. The transfer of data to the computer for the visualization of the test results takes place in a LabView environment, through a graphic approach (www.ni.com).

3.1 Tests on pressing devices

The tests were carried out on both new and used pressers, in steel and "annealed" steel, with internal and external diameters of 5.2 mm and 9 mm respectively.

The aim was to identify the best solution to avoid the problem of slipping, with consequent projection of beads, springs and spacers at very high speeds and distances.

Furthermore, it was necessary to verify whether, due to the cut, these elements are subject to wear, with a decrease in slipping resistance under a static tensile force.

The materials used for the tests consist of:

- galvanized steel cables (with a carbon content between 0.4 and 0.72%) supplied by the company "Megadiamant Srl" of two types, both with 61 wires (strands of the 6x7 + 19 type), with minimum guaranteed breaking strength between 17.65 kN and 18.55 kN (UNI EN 12385-1:2009: "Steel cables - Safety - Part 1: General requirements") and rope diameter respectively 4.85 mm and 4.9 mm; the length of the cable used for each test is about 50 cm;

- an HT45 hydraulic press, fitted with a maximum pressure valve (nominal operating pressure = 600 bar), suitable for the installation of electrical conductors (up to 150 mm²) (cembre.com);

- clamps for cables, used to close the cable with a slot;

- steel cylinder, used to lock the presser. The internal diameter is 5 mm, to allow the passage of the steel cable, and the external diameter varies from 20 mm to 30 mm.

Before the test, the presser is radially compressed on the cable (Fig.4) until it exceeds its compressive yield strength



ne, così ottenuto, viene agganciato da un lato all'occhiello collegato alla cella di carico attraverso un'asola chiusa da morsetti (agganciati in conformità con la UNI EN 13411-5:2009 "Estremità per funi di acciaio - Morsetti per funi"), dall'altro viene bloccato dal cilindro di acciaio. I test di sfilamento sui pressatori sono stati eseguiti in conformità con la norma armonizzata UNI EN13236:2016. La rampa lineare di carico uniaassiale è stata impostata in modo da raggiungere il 100% del carico massimo in 180 s;

i dati sono stati acquisiti ad intervalli di 10 ms. La pressa interrompe la prova quando il fermo si muove dalla posizione in cui è stato pressato e produce una variazione di carico di 50 kg. La prova risulta superata se il valore di picco registrato dopo il movimento del pressatore è almeno 1/12 del carico di rottura minimo garantito del cavetto di supporto: quindi, considerando il cavetto con carico di rottura maggiore (1890 kg), il valore limite soglia imposto dalla norma

Tab.1 Resistenza a sfilamento massima, minima, media e deviazione standard delle diverse tipologie di pressatori. I pressatori usati sono stati testati su fili diamantati reperiti in cava e con diversi gradi di usura / Resistance to pushout maximum, minimum, average and standard deviation of the different types of pressers. Used pressers were tested on diamond wires found in quarries and with different degrees of wear

	Acciaio Steel	Acciaio "ricotto" Annealed steel	Usati "tipo 1" Used "type 1"	Usati "tipo 2" Used "type 2"	Usati "tipo 3" Used "type 3"
Carico Load	kg	kg	kg	kg	kg
Massimo Maximum	867	1035	890	963	905
Minimo Minimum	770	868	765	584	754
Media Average	831	949	816	791	826
Dev. standard Std deviation	27	55	36	98	47

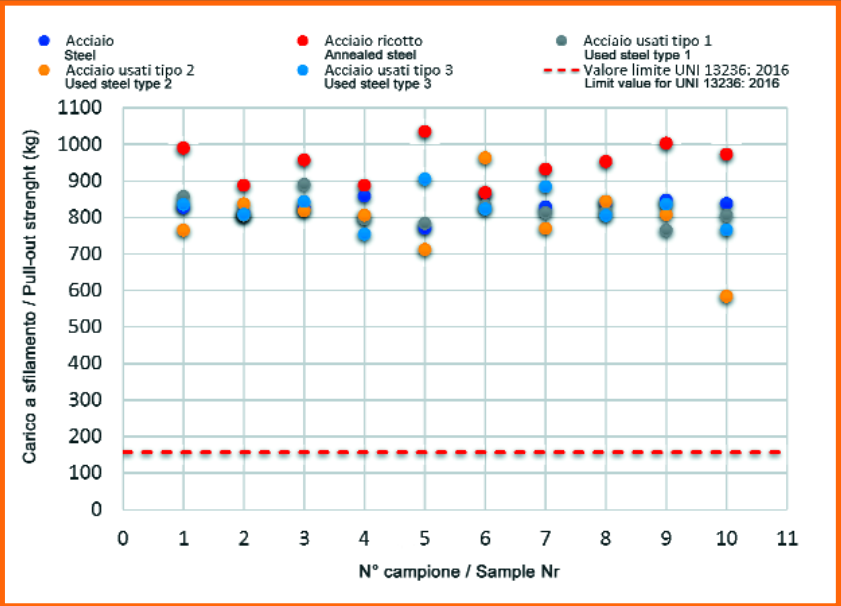


Fig.5 Resistenza a sfilamento dei pressatori in acciaio nuovi
Slipping resistance of new steel pressers

(Nicodemi, 1986). The sample thus obtained is hooked on one side to the eyelet connected to the load cell through a slot closed by clamps (hooked in accordance with UNI EN 13411-5:2009 "Ends for steel cables-clamps for cables"), on the other hand it is blocked by the steel cylinder. Slipping tests on the pressers were carried out in compliance

with the harmonized standard UNI EN13236:2016. The uniaxial linear loading ramp was set to reach 100% of the maximum load in 180 s. The data were acquired at 10 ms intervals. The press stops the test when the retainer moves from the position in which it was pressed and produces a load change of 50 kg. The test is passed if the peak value recorded after the movement of the presser is at least 1/12 of the minimum breaking load of the support cable: therefore, considering the cable with a greater breaking load (1890 kg), the limit threshold value imposed from the UNI EN 13236:2016 standard is about 158 kg. For each type of presser (new and used, the latter divided into three categories based on the type of origin and the undergone wear) tests were performed on 10 samples. The results obtained are shown in Tab.1, while Fig.5 shows, as an example, the progress of the loads recorded on the 10 new steel samples.

A first important consideration emerging from the results is that all pressers, both new and used, have complied with the requirements of the European standard UNI EN 13236:2016 about the resistance to pushout under the application of a tensile static load: this implies that they do



UNI EN 13236: 2016 è circa 158 kg.

Per ogni tipologia di pressatori (nuovi e usati, questi ultimi suddivisi in tre categorie in funzione della tipologia d'origine e dell'usura subita) sono state eseguite prove su 10 campioni.

I risultati ottenuti sono riportati in Tab.1, mentre in Fig.5 si riporta, a titolo esemplificativo, l'andamento dei carichi registrati sui 10 campioni di acciaio nuovi.

Una prima importante considerazione che emerge dai risultati è che tutti i pressatori, sia nuovi sia usati, hanno rispettato i requisiti della norma europea UNI EN 13236: 2016 per quanto riguarda la resistenza allo sfilamento sotto l'applicazione di un carico statico di trazione: se ne deduce che essi non subiscono un significativo deterioramento durante il taglio.

Se da un lato i pressatori di acciaio "ricotto" sembrano avere una variabilità maggiore rispetto a quelli di acciaio normale, d'altra parte rappresentano, secondo quanto emerso dai test, la soluzione migliore, in quanto hanno una resistenza a sfilamento di 100 kg superiore rispetto a quelli in acciaio normale (Tab.1).

In conclusione, occorre comunque considerare che, nonostante i risultati abbiano evidenziato dei valori superiori al limite previsto dalla norma, il pressatore debba essere inserito con la dovuta attenzione, in quanto rappresenta un elemento fondamentale ai fini di evitare la proiezione di perline, molle e distanziali in casi di rottura del filo dia-

mantato durante il taglio.

3.2 Prove sui morsetti di giunzione

Le prove di sfilamento su varie tipologie di morsetti di giunzione, in acciaio e in rame, aventi diametro e lunghezza diversa, sono state eseguite in conformità con la norma europea UNI EN 13236:2016.

A differenza dei pressatori, i morsetti di giunzione vengono pressati sul cavo direttamente in cava e ciò costituisce un'operazione molto delicata, al fine di evitare l'apertura del circuito del filo per sfilamento del cavo dal morsetto (evento che in cava, da interviste condotte in campo, si verifica con una certa regolarità e che può essere causa di infortuni). I campioni sono stati preparati a partire da due spezzoni di cavo d'acciaio di lunghezza pari a circa 30 cm. Ogni morsetto di giunzione è stato pressato tra le estremità dei due spezzoni, analogamente a quanto fatto per i pressatori.

I campioni così ottenuti sono sottoposti alle prove di sfilamento mediante pressa idraulica. Il collegamento alla pressa è stato realizzato mediante due asole chiuse da morsetti per funi in conformità con la UNI EN 13411-5: 2009 "Estremità per funi di acciaio- Morsetti per funi".

La norma UNI EN 13236:2016 imposta come valore limite di resistenza allo sfilamento il 30% del carico di rottura del cavo di supporto, che nel caso del cavetto utilizzato nei test è 1890 kg e quindi i morsetti di giunzione devono avere una resistenza allo sfilamento di almeno 567 kg.

not undergo a significant decay during cutting. If on the one hand the "annealed" steel pressers seem to have a greater variability than those of normal steel, on the other hand they represent, according to the findings of the tests, the best solution, as they show a resistance to pushout of 100 kg greater compared to those in normal steel (Tab.1).

In conclusion, it must however be considered that, although the results have shown values above the limit set by the standard, the presser must be inserted with the due care, as it represents a fundamental element in order to avoid the projection of beads, springs and spacers in case of breakage of the diamond wire during the cut.

3.2 Tests on junction clamps

The slipping tests on various types of junction clamps, both in steel and copper, having different diameters and lengths, were performed in compliance with the European standard UNI EN 13236:2016.

Unlike the pressers, the junction clamps are pressed on the cable directly in the quarry and this is a very sensitive operation, carried out with the aim of avoiding the opening of the wire loop by slipping the cable from the clamp (it can occur, from on-site interviews, with a certain regularity and can cause injuries).

The samples were obtained from two pieces of steel cable with a length of about 30 cm; each junction clamp was pressed between the ends of the two pieces, similarly to what was done for the pressers.

The samples thus obtained are subjected to slipping tests

using a hydraulic press. The connection to the press was made by means of two slots closed by cable clamps in compliance with UNI EN 13411-5:2009 "Ends for steel cables-clamps for cables".

The UNI EN 13236:2016 standard sets a pushout strength limit value of 30% of the support cable breaking load which, for the cable used in the tests, is 1890 kg and therefore the junction clamps must have a slipping strength of at least 567 kg. On this point, some further details will be given below. The results of the tests were always compared with the limit value imposed by the UNI EN 13236: 2016 standard. Fig.6 shows the results obtained from the slipping tests on various junction clamps.

The results of these tests differ from those reported by the interviews on site, which showed a slipping strength of the junctions in copper less than those in steel.

The problem will be addressed in more detail later on.

Tests were also carried out on used clamps, partly obtained from diamond wires employed in quarries and partly from pieces of plasticized and rubberized wire from the "Megadiamant S.r.l." company.

As for the tests on steel, all the samples showed greater strength than that required by the standard.

Furthermore, no information was available on the total surface cut, which would have more accurately certified the degree of wear of the diamond wire. The results obtained from the tests on the junction clamps show that, in over 90% of the cases examined, the slipping strength, recorded under a static tensile force, was higher than the limit imposed by



Su questo punto, si entrerà in dettaglio nel seguito.

I risultati delle prove sono stati sempre confrontati con il valore limite imposto dalla norma UNI EN 13236:2016; in Fig.6 si riportano i risultati ottenuti dalle prove di sfilamento sui vari morsetti di giunzione.

Si segnala che i risultati di tali prove sono in contrasto con quelli riscontrati da interviste dirette sul campo, che hanno evidenziato una resistenza a sfilamento delle giunzioni in rame minore di quelle in acciaio.

Successivamente si affronterà il problema in maggior dettaglio.

Sono state inoltre eseguite prove su morsetti di giunzione usati, in parte ricavati da fili diamantati impiegati in cava e in parte da spezzoni di filo plastificato e gommato pro-

venienti dall'azienda "Megadiamant S.r.l.".

Per quanto riguarda le prove su acciaio, tutti i campioni hanno mostrato resistenza maggiore di quella prevista dalla norma. Non erano peraltro disponibili informazioni circa l'entità della superficie totale tagliata, che avrebbe garantito di certificare con maggiore precisione il grado di usura del filo diamantato.

I risultati ottenuti dalle prove sui morsetti di giunzione mostrano che, in oltre il 90 % dei casi esaminati, la resistenza a sfilamento, registrata sotto l'azione di una forza di trazione statica, è stata superiore al limite imposto della norma UNI EN 13236:2016.

Ciò implica che, nonostante i morsetti di giunzione siano considerati il punto debole e di maggiore criticità del cir-

cuito a filo diamantato, essi mostrano una resistenza a sfilamento di circa 300/400 kg superiore al limite dettato dalle norme.

D'altra parte, il numero di incidenti e di "near misses" che si verificano in cava a causa dello sfilamento del morsetto, porterebbe a dire che non si tratta di un fenomeno inusuale.

Il morsetto di giunzione risulterebbe meno soggetto a sfilamento sotto una forza di trazione e, quindi, la causa principale di rottura parrebbe essere il

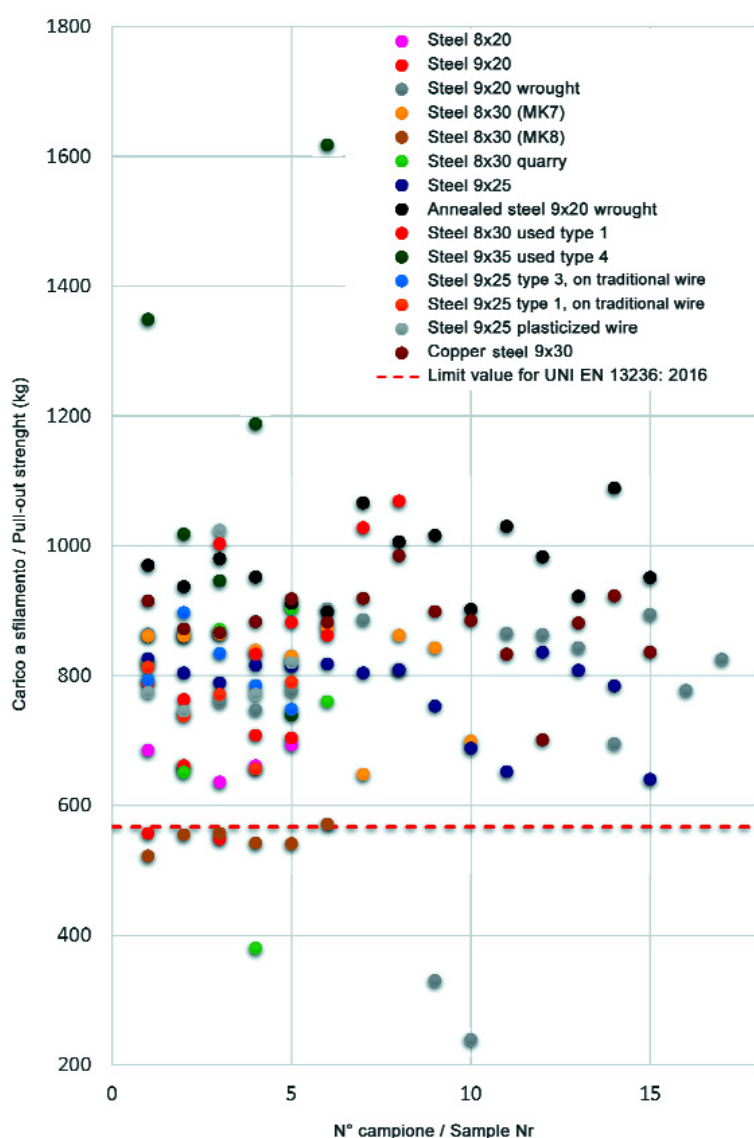


Fig.6 Resistenza a sfilamento delle varie tipologie di morsetti di giunzione testati. Si osserva che oltre il 90% dei campioni ha rispettato il valore limite imposto dalla norma europea UNI EN 13236:2016. I valori al di sotto di tale limite si sono riscontrati solo nel caso di outliers, di giunzioni in acciaio 9x20 (2 campioni su 5) e nel caso di pressatura con MK 8 dei morsetti di giunzione in acciaio 8x30. *Slipping strength of the various types of junction clamps tested. It is noted that over 90% of the samples respected the limit value imposed by the European standard UNI EN 13236:2016. The values under this limit were obtained only in case of outliers, of 9x20 steel junctions (2 samples out of 5) and in case of 8x30 steel junctions pressed with MK 8*

the UNI EN 13236:2016 standard.

This implies that, despite the junction clamps being considered the weakest and most critical point of the diamond wire circuit, they show a slipping strength of about 300/400 kg higher than the limit imposed by the standards. On the other hand, the number of accidents and near misses occurring in the quarry due to the slipping of the clamps would lead to say that this is not an unusual phenomenon: the junction clamp would be less subject to slipping under a tensile strength and, therefore, the main cause of failure would seem to be fatigue failure due to bending cycles of the support cable (Dunda & Kujundzic, 2001; Tantussi, 2008; Tantussi et Al., 2003; Calderale, 1989).

Similarly to the pressers, surprising results were obtained from the annealed steel junctions, as can be seen in Tab. 2. Also in this case, no information is available on the chemical composition of the steel and on the thermal process adopted but, probably, the higher low temperature processing supplied to the steel by the thermal annealing process increases the slipping strength of the junction clamp.



cedimento a fatica per cicli di flessione del cavo di supporto (Dunda & Kujundzic, 2001; Tantussi, 2008; Tantussi et Al., 2003; Calderale, 1989).

Analogamente ai pressatori, sono stati ottenuti risultati sorprendenti dalle giunzioni in acciaio ricotto, come si osserva in Tab.2.

Anche in questo caso, non si hanno informazioni sulla composizione chimica dell'acciaio e sul processo termico adottato ma, probabilmente, la maggior lavorabilità a freddo fornita all'acciaio dal processo termico di ricottura aumen-

ta la resistenza a sfilamento del morsetto di giunzione. Occorre osservare che le giunzioni, pur essendo un elemento del filo diamantato, sono vendute insieme separatamente. Da interviste condotte in cava è emerso che all'atto della vendita non è rilasciata alcuna documentazione e quindi non è specificato l'impiego di una specifica marchetta per la compressione dei morsetti.

Dalle prove a sfilamento condotte su giunzioni in acciaio 8x30 è risultato che l'uso di marchette MK7 per giunte con diametro esterno 8 mm è obbligatorio ai fini di rispet-

Tab.2 Resistenza a sfilamento di morsetti di giunzione con diverso diametro e diversa lunghezza: media, deviazione standard, massimo e minimo
Slipping strength of junction clamps with different diameters and different lengths: average, standard deviation, maximum and minimum

	Acciaio 8x20 Steel 8x20	Acciaio 9x20 Steel 9x20	Acciaio 9x20 con battuta Steel 9x20 wrought	Acciaio 9x25 Steel 9x25	Acciaio 9x25 con battuta Steel 9x25 wrought	Acciaio 8x30 Steel 8x30	Acciaio "ricotto" 9x20 con battuta Annealed steel 9x20 wrought	Rame 9x30 Copper 9x30
Carico Load	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Massimo Maximum	693	708	903	836	1005	874	1089	985
Minimo Minimum	636	548	695	640	918	648	898	701
Media Average	667	636	824	776	944	818	974	880
Dev. standard Std deviation	23	78	62	64	32	78	58	62

Tab.3 Resistenza a sfilamento di morsetti di giunzione in acciaio 8x30 pressati con MK 7 e MK 8
Pull-out strength of 8x30 steel junction clamps pressed with MK 7 and MK 8

	Acciaio 8x30 (MK 7) Steel 8x30 (MK 7)	Acciaio 8x30 (MK 8) Steel 8x30 (MK 8)	Acciaio 8x30 usate Steel 8x30 used	Acciaio al rame 8x30 cava Copper steel 8x30 quarry
Carico Load	kg	kg	kg	kg
Massimo Maximum	874	571	1069	903
Minimo Minimum	648	522	763	380
Media Average	818	548	904	731
Dev. standard Std deviation	78	17	115	194

It should be noted that the junctions, despite being an element of the diamond wire, are sold separately.

From on-site interviews it emerged that, at the sale, no documentation is released and therefore the use of a specific clamp is not specified. From the slipping tests conducted on 8x30 steel joints it was found that the use of MK7 markers for joints with 8 mm external diameter is mandatory in order to comply with the European standard UNI EN 13236:2016.

In addition to having a variability of almost 300 kg (Tab.3), when the joints were pressed with MK 8, 5 samples out of 6 did not exceed the limit value imposed by the standard. To quantify the deterioration and wear to which the ele-

ments of the diamond wire are subjected in quarry, a series of tests were conducted, whose values are summarized in Tab.3.

The 8x30 steel junction clamps worn after cutting did not show a decrease in slipping strength and all of them satisfied, with values over 750 kg, the limit of the standard. Comparing the values in Tab.3, it appears that the junctions used exhibit higher strength values.

Therefore, it would seem that during the cut they undergo a work hardening that allows them to better anchor to the support cable. Other encouraging results were obtained by making the junctions with a manual press used in the quarry and therefore more subject to wear and "dirt": with the



tare la norma europea UNI EN 13236:2016. Oltre ad avere una variabilità di risultato di quasi 300 kg (Tab.3), nel caso di giunzioni pressate con MK 8, cinque campioni su sei non hanno superato il valore limite imposto dalla norma.

Per tentare di quantificare il deterioramento e l'usura cui sono soggetti in cava gli elementi del filo diamantato, sono state condotte una serie di prove i cui valori sono riassunti in Tab.3. I morsetti di giunzione in acciaio 8x30 usurati in seguito al taglio della roccia non hanno mostrato una diminuzione della resistenza a sfilamento e tutti hanno soddisfatto, con valori superiori ai 750 kg, il limite della norma. Confrontando i valori di Tab.3, si nota che le giunzioni usate esibiscono valori di resistenza superiori.

Quindi, sembrerebbe che durante il taglio esse subiscano un incrudimento che permette loro di ancorarsi meglio al cavo di supporto.

Risultanti altrettanto incoraggianti si sono avuti eseguendo le giunzioni con pressa manuale utilizzata in cava e quindi soggetta maggiormente ad usura e "sporcizia": ad eccezione di un valore (considerato outlier) tutti i valori hanno soddisfatto i limiti suggeriti dalla norma.

La campagna sperimentale ha anche riguardato prove a sfilamento di morsetti nuovi su cavi usati al fine di verificare un'eventuale diminuzione della resistenza a sfilamento a causa dell'usura del cavo.

La motivazione è dovuta al fatto che nelle pratiche di cantiere, quando è necessario rifare la giunzione per regolare la lunghezza del filo diamantato o perché si inizia un nuovo taglio ed il filo non è ancora arrivato a fine vita, il morsetto di giunzione è impiegato su un cavo usato (soprattutto nel filo tradizionale). Dunque, sono state effettuate prove su morsetti di giunzione in acciaio 9x25 connessi a filo tradizionale e a filo plastificato.

Tab.4 Resistenza a sfilamento dei morsetti di giunzione in seguito ad usura del filo diamantato o di deterioramento del materiale utilizzato in cava
Pull-out strength of the junction clamps due to wear of the diamond wire or deterioration of the material used in the quarry

	Acciaio 9x25 su filo tradizionale usato M2 <i>Steel 9x25 used traditional wire M2</i>	Acciaio 9x25 su filo tradizionale usato S <i>Steel 9x25 used traditional wire S</i>	Acciaio 9x25 su filo plastificato usato <i>Steel 9x25 used plasticized wire</i>
Carico <i>Load</i>	kg	kg	kg
Massimo <i>Maximum</i>	897	813	1024
Minimo <i>Minimum</i>	748	656	745
Media <i>Average</i>	811	754	827
Dev. standard <i>Std deviation</i>	57	61	113

exception of one value (considered outlier) all the values satisfied the limits suggested by the standard.

The experimental campaign also involved slipping tests of new clamps on used cables, in order to verify a possible decrease in pull-out strength due to cable wear.

The reason is because in construction site practices, when it is necessary to redo the junction to adjust the length of the diamond wire or because a new cut is started and the wire has not yet reached the end of its life, the junction clamp is employed on a used cable (especially in traditional wire).

Therefore, tests were carried out on 9x25 steel junction clamps connected to traditional and plastic-coated wire.

All the samples have complied with the requirements prescribed by the standard and, in particular, the joints mounted on plasticized wire have given slightly better results than those mounted on traditional wire: this is not surprising, as the coated wire is subject to less wear compared to the traditional one, where the cable is in direct contact with the outside. The wear of the diamond wire support cable does not seem to deteriorate the pull-out strength of the junction clamps: the results obtained on 9x25 steel joints employed

on used diamond wires (traditional and plasticized) are shown in Tab.4.

From the comparison with Tab.2, it is noted that the pull-out strength values obtained from the joints mounted on the used cable are greater than those obtained from tests on new cable. It would be necessary to verify this statement through further tests, but it would seem that the wear of the cable leads to an increase in friction that counteracts slipping. Summarizing, three factors contribute to the pull-out strength of the clamp: the external diameter, the length, and the material with which the clamp was made.

In fact, the clamp is plasticized around the support cable with a pressure equal to the maximum pressure exerted by the manual press, from which the pressure developed to yield the material must be deducted:

$$P_{EFF} = P_{MAX} - \sigma_{SN} A_R$$

Increasing the external diameter, also increases the resistant section and therefore the pull-out strength of the junction clamp. It also increases using materials with a lower yield strength (Marble Committee, 2000; Callister, 2007).

In fact, better results have been achieved with junction



Tutti i campioni hanno rispettato i requisiti prescritti dalla norma e, in particolare, le giunzioni montate su filo plastificato hanno dato luogo a risultati lievemente migliori di quelle montate su filo tradizionale.

Ciò non è sorprendente, in quanto il filo rivestito subisce un'usura minore rispetto a quello tradizionale, dove il cavo è a contatto diretto con l'esterno. L'usura del cavo di supporto del filo diamantato non sembra deteriorare la resistenza a sfilamento dei morsetti di giunzione: i risultati ottenuti su giunzioni in acciaio 9x25 impiegate su fili diamantati usati (tradizionale e plastificato) sono riportati in Tab.4.

Dal confronto con Tab.2, si nota che i valori di resistenza a sfilamento ottenuti dalle giunzioni montate su cavo usato

sono maggiori di quelli ottenuti dalle prove su cavo nuovo. Sarebbe necessario verificare tale affermazione mediante ulteriori prove, ma parrebbe che l'usura del cavo comporti un incremento dell'attrito che si oppone allo sfilamento.

In definitiva, contribuiscono alla resistenza a sfilamento del morsetto di giunzione tre fattori: il diametro esterno, la lunghezza e il materiale con cui il morsetto di giunzione è stato realizzato. Infatti, il morsetto di giunzione viene plasticizzato intorno al cavo di supporto con una pressione pari alla pressione massima esercitata dalla pressa manuale, cui va detratta la pressione sviluppata per portare a snervamento il materiale:

$$P_{EFF} = P_{MAX} - \sigma_{SN} A_R$$

Aumentando il diametro esterno, aumenta anche la sezione resistente e quindi la resistenza a sfilamento del morsetto di giunzione. Essa aumenta anche utilizzando materiali con carico di snervamento più bassi (Comitato paritetico del Marmo, 2000; Callister, 2007); risultati migliori si sono raggiunti, infatti, con morsetti di giunzione venduti come rame e acciaio ricotto.

Per quanto riguarda, invece, la lunghezza

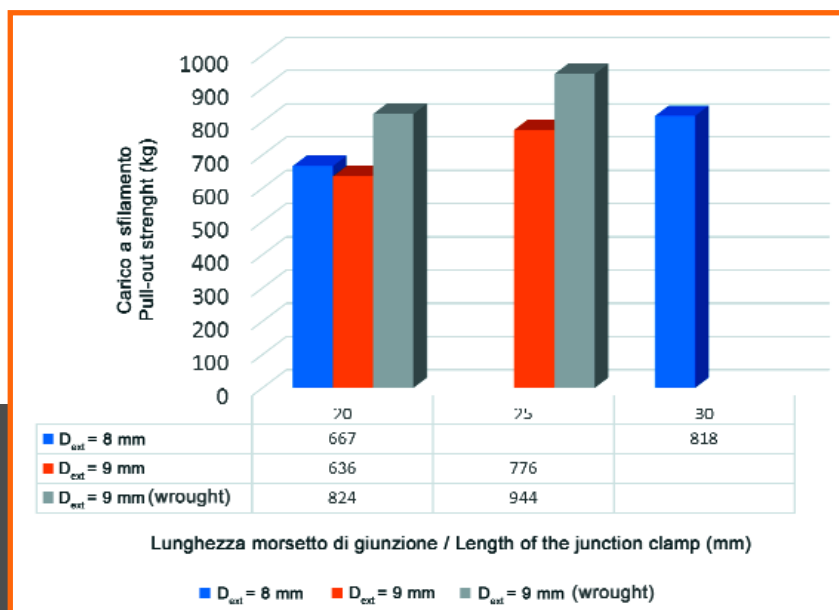


Fig.7 Diagramma di confronto delle resistenze a sfilamento dei morsetti di giunzione in acciaio. Si osserva un aumento di 15-30 kg/mm della resistenza a sfilamento in funzione della lunghezza della giunzione ed un aumento con la diminuzione del diametro esterno della giunzione
Comparison diagram of the pull-out strengths of the steel junction clamps. An increase of 15-30 kg/mm is noticeable depending on the length of the joint, together with an increase with the decrease of the external diameter of the joint



Fig.8 Compressione di un morsetto di giunzione sul cavo eseguendo una doppia pressata in uno stesso punto del morsetto ruotandolo di 90 gradi (operazione eseguita in 4 punti della giunzione) per l'esecuzione di prove di rottura a trazione
Compression of a junction clamp on the cable by performing a double pressing in the same point of the clamp, and rotating it by 90 degrees, to perform tensile breaking tests

clamps sold as copper and annealed steel. As regards, instead, the length of the junction clamp, it affects the section of rope being gripped and is linked to the pull-out strength by a direct proportionality. These considerations are reflected in the graph of Fig.7, which shows the values obtained only for steel junction clamps, for different lengths and different diameters. As for the presence of the locks and the beat inside the junction clamps, they facilitate the connection of the two cable sections, allowing to insert the cable for a fixed portion, in order to have always the same stretch of gripped rope on both sides of the joint clamp.

In addition to presenting greater pull-out strengths, the lock and the beat are almost indispensable for 20 mm clamps, since an error in the joining operation in these cases could induce a slippage at low tensile loads (see Fig.7).

The experimental campaign in the quarry has made it possible to evaluate, in addition to the different types of clamps used, and chosen on the basis of the experience of the quarry workers, the techniques adopted for assembling and closing the diamond wire.

The research showed that the main causes



del morsetto di giunzione, essa influisce sul tratto di fune in presa ed è legata alla resistenza a sfilamento da una proporzionalità diretta.

Tali considerazioni trovano riscontro nel grafico di Fig.7, in cui si riportano i valori ottenuti per i soli morsetti di giunzione in acciaio, per diverse lunghezze e diversi diametri. Quanto alla presenza dei fermi e della battuta all'interno dei morsetti di giunzione, essi facilitano l'operazione di raccordo dei due spezzoni di cavo, in quanto consentono di inserire il cavo per una porzione fissa, al fine di avere un tratto di fune in presa sempre uguale da ambo i lati del morsetto di giunzione.

Oltre a presentare resistenze a sfilamento superiori, il fermo e la battuta sono pressoché indispensabili per morsetti da 20 mm, in quanto un errore nell'operazione di giunzione in questi casi potrebbe indurre uno sfilamento a bassi carichi di trazione (vedasi la Fig.7).

La campagna sperimentale condotta in cava ha permesso di valutare, oltre alle diverse tipologie di morsetti utilizzati e scelti in base all'esperienza maturata dai cavafori, le tecniche adottate per l'assemblaggio e la chiusura del filo diamantato.

Dalla ricerca è emerso che le principali cause di rottura del circuito a filo diamantato sono la rottura del cavo in prossimità del morsetto di giunzione, lo sfilamento del morsetto ma anche, spesso, la sua stessa rottura.

A tale proposito, sono state condotte prove su morsetti in

acciaio 8x30 e in rame 9x30, collegati ai due spezzoni di cavo mediante compressione con pressa manuale, come indicato in Fig.8. Tale tecnica di serraggio comporta valori di tenuta superiori: il valore di serraggio raggiunto (in media) è di circa 200 kg maggiore e ciò consente di ottenere un incremento di circa il 25%.

In Fig.9 si riportano i valori di resistenza ottenuti, confrontati con la resistenza a sfilamento limite imposta dalla norma UNI EN 13236:2016.

Come si osserva, i risultati relativi al campione 2 (giunzioni in rame e in acciaio) sono molto prossimi fra loro e, in generale, la resistenza allo sfilamento è elevata.

I campioni 1, 2 e 4 non si sono sfilati, ma hanno ceduto per rottura a trazione e il punto di rottura si è sempre verificato in corrispondenza di una variazione della sezione resistente dove, come si chiarirà in seguito, si è registrata una concentrazione degli sforzi, come mostrato in Fig.10. La tecnica descritta risulta quindi idonea a migliorare la sicurezza in cava, in quanto garantisce una maggiore resistenza allo sfilamento.

Principalmente, la frattura fragile, o comunque senza deformazioni plastiche vistose, è influenzata dalla composizione chimica del materiale ed in particolare dal suo tenore di carbonio.

Un aumento di questo negli acciai dolci comporta da un lato un incremento della resistenza a trazione, dall'altro una diminuzione di duttilità e resilienza e, quindi, un aumento

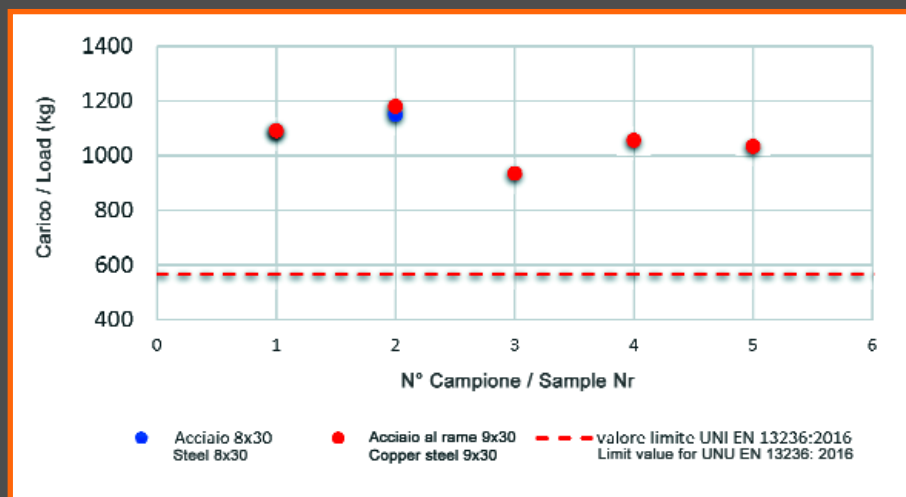


Fig.9 Resistenza a sfilamento dei morsetti di giunzione in rame 9x30 e acciaio 8x30 confrontati con il valore limite imposto dalla norma UNI EN 13236:2016

Resistenza a sfilamento dei morsetti di giunzione in rame 9x30 e acciaio 8x30 confrontati con il valore limite imposto dalla norma UNI EN 13236:2016

of breakage of the diamond wire circuit are the breakage of the cable near the junction clamp, the slippage of the clamp but also, often, its own rupture.

In this regard, tests were conducted on 8x30 steel and 9x30 copper clamps, connected to the two sections of cable through compression with manual press, as shown in Fig.8. This tightening technique involves higher sealing values: the tightening value reached (on average) is almost 200 kg greater and this allows to obtain an increase of about 25%.

Fig.9 shows the results obtained in terms of strength values, compared with the limit imposed by the UNI EN 13236: 2016 standard.

As evident, the results related to sample 2 (copper and steel joints) are very close to each other and, in general, their strength is high.

Samples 1, 2 and 4 have not slipped out, but have broken due to traction, and the breaking point has always occurred in correspondence of a variation of the resistant section where, as it will be clarified later, a stress concentration was recorded, as shown in Fig.10.

The technique described is therefore suitable for improving safety in quarries, as it guarantees greater pull-out strength.

Mainly, the brittle fracture, or in any case without great plastic strains, is influenced by the chemical composition of the material and especially by its carbon content: an increase in carbon in mild steels involves, on the one hand, an increase in tensile strength and, on the other, a decrease in ductility and resilience and, therefore, an increase in the transition temperature.

Since no technical documents are available on the type of joint and therefore not being able to classify the material

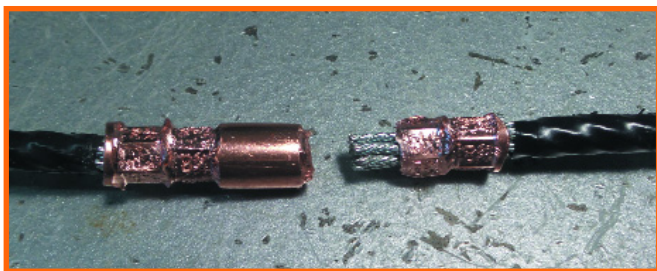


Fig.10 Rottura della giunzione in corrispondenza di una variazione di sezione resistente / Breakage of the junction, in correspondence of a variation of resistant section

della temperatura di transizione.

Non essendo disponibili documenti tecnici sul tipo di giunzione e quindi non potendo classificare con certezza il materiale, si è focalizzata l'attenzione su un altro aspetto che favorisce la frattura senza evidenti deformazioni plastiche, rappresentato dall'“incrudimento”.

Questo fenomeno è importante, in quanto può intervenire durante la fase di lavorazione o di esercizio e si manifesta con una deformazione plastica a freddo che provoca un aumento della densità delle dislocazioni a causa della compressione della giunzione sul cavo di supporto (Nicodemi, 1986; Callister, 2007).

Sono, infine, state svolte prove per verificare in laboratorio

un'eventuale riduzione della resistenza a sfilamento dei morsetti di giunzione a temperature diverse da quella ambientale, in particolare a 60°C, 80°C, 100°C e 120°C, per simulare l'assenza di acqua di raffreddamento nel circuito di taglio (taglio a secco).

In nessun caso si è verificato lo sfilamento sotto il valore limite suggerito dalla norma, ma anche in questo caso si è registrata una leggera variazione del carico di picco a sfilamento; il concetto sarà approfondito in seguito.

Circa l'influenza della temperatura, per entrambe le tipologie di giunzioni si è registrata una diminuzione della resistenza a sfilamento all'aumentare della temperatura (circa 2,5 ÷ 3 kg/°C per il rame 9x30 e circa 1,5 ÷ 2 kg/°C per l'acciaio 9x25), ma in nessun caso si sono riscontrati valori inferiori al limite imposto dalla norma UNI EN 13236:2016. Si deduce comunque che le giunzioni in rame sono più soggette a sfilamento, in caso di temperature elevate, rispetto a quelle in acciaio.

L'aumento di temperatura cui sono soggetti gli elementi del filo durante il taglio non è stato quantificato con esattezza ma, da ricerche in sito, parrebbe che la massima temperatura raggiungibile sia di circa 80°.

Pertanto, lo scorretto uso dell'acqua di raffreddamento o la sua assenza determinano una diminuzione della resistenza a sfilamento più o meno elevata a seconda della tipologia di giunzioni. Nell'intervallo di temperatura in cui si sono eseguite le prove in laboratorio, tale diminuzione

with certainty, attention was focused on another aspect that favors fracture without obvious plastic deformations, represented by the “work hardening”.

This phenomenon is important, as it can intervene during processing or in operation, and induces a cold plastic deformation that causes an increase in the density of the displacements, due to the compression of the junction on the support cable (Nicodemi, 1986; Callister, 2007).

Finally, tests were carried out to verify in the laboratory a possible reduction in the pull-out strength of the junction clamps at temperatures other than room temperatures, in particular at 60°C, 80°C, 100°C and 120°C, to simulate the absence of cooling water during the cut (dry cutting). In no case was noticed a pull-out below the limit value suggested by the standard, but also in these cases there was a slight variation of the peak load at pull-out; the concept will be deepened hereafter.

As for the influence of temperature, for both types of junctions there was a decrease in pull-out strength with increasing temperature (about 2.5 ÷ 3 kg/°C for copper 9x30 and about 1.5 ÷ 2 kg/°C for 9x25 steel), but in no case values lower than the limit imposed by the UNI EN 13236:2016 standard were noticed.

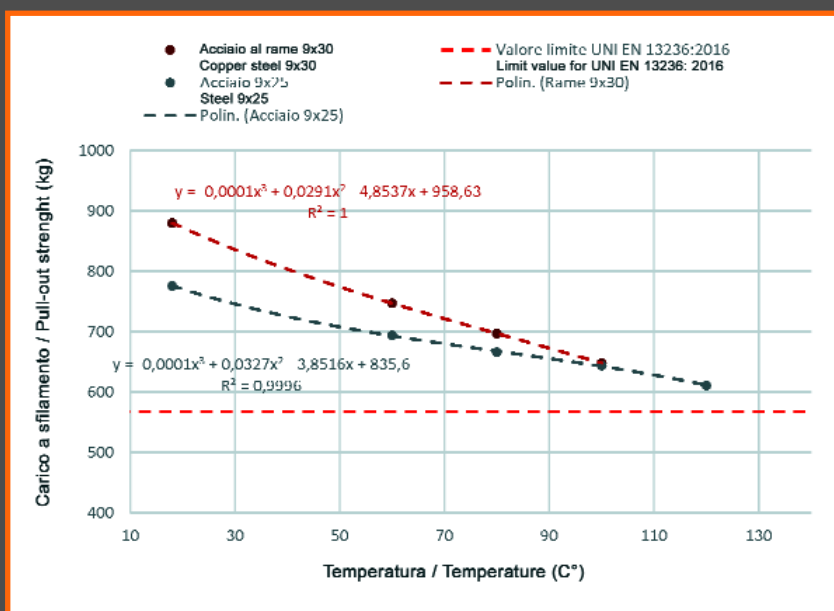


Fig.11 Resistenza sfilamento in funzione della temperatura per morsetti di giunzione in rame 9x30 e in acciaio 9x25 / Slipping strength as a function of temperature for 9x30 copper and 9x25 steel junction clamps

It can be deduced, however, that copper joints are more prone to slipping, in case of high temperatures, than steel ones. The increase in temperature that the wire elements undergo during cutting was not exactly quantified but, from an on-site research, it would seem that the maximum temperature that can be reached is around 80°: therefore, the



è stata verificata per i morsetti di giunzione in rame 9x30 e in acciaio 9x25 (Fig.11).

In conclusione, si osserva che l'uso delle cesoie impiegate in cava per tagliare il cavo non consente di ottenere una superficie perfettamente regolare: ciò potrebbe causare la variabilità dei risultati ottenuti dalle prove a sfilamento anche per morsetti di giunzione della stessa tipologia.

L'uso di una fresa a disco abrasivo ad alta velocità per il taglio della fune metallica, come consigliato nell'Appendice A della norma UNI EN 12385-3 ("Funi d'acciaio - Informazioni per l'uso e la manutenzione") potrebbe contribuire a migliorare le prestazioni, in termini di resistenza a sfilamento, dei morsetti di giunzione.

4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La direttiva europea 2006/42/CE è recepita ed attuata in Italia mediante il decreto legislativo 17 del 2010 (Direttiva Macchine).

Esso stabilisce le specifiche che deve rispettare una macchina per essere immessa sul mercato.

Il fabbricante deve inoltre rendere disponibile la documentazione tecnica, e allegare la documentazione di appoggio (istruzioni d'uso, manutenzione, smaltimento e così via). Un'importante considerazione deriva dall'osservazione dell'Allegato I, Cap. I ("Requisiti essenziali di sicurezza e di tutela della Salute") in cui si legge: "la macchina deve essere fornita completa di tutte le attrezzature e gli acces-

sori speciali essenziali per poterla regolare, eseguirne la manutenzione e utilizzarla in condizioni di sicurezza".

A tale proposito si specifica che il filo diamantato non è venduto unitamente alla macchina, nonostante rappresenti, secondo la definizione riportata al paragrafo precedente, un'attrezzatura di lavoro: esso è commercializzato da costruttori diversi rispetto a quelli che commercializzano la macchina.

Anche i morsetti di giunzione, nonostante rappresentino parte del filo, sono venduti separatamente.

A tale proposito, una collaborazione tra i costruttori di fili (comprese le giunzioni) e quelli delle macchine sarebbe essenziale per ottenere prestazioni adeguate in termini di produttività, ma soprattutto in termini di sicurezza.

All'interno del D.lgs. 17/10 vengono definiti, per alcuni campi, dei coefficienti di utilizzazione dell'insieme fune e terminale, per garantire un livello di sicurezza adeguato, pari a 5. Nonostante i notevoli progressi tecnologici, il rischio di rottura del filo diamantato è un evento molto frequente che, purtroppo, causa ancora oggi infortuni, alcuni dei quali mortali.

La norma UNI EN 13236 (2016) descrive i requisiti di sicurezza per prodotti contenenti diamante naturale o sintetico. Stabilisce, inoltre, le misure preventive e protettive per la riduzione dei pericoli derivanti da tali prodotti attraverso prove per le verifiche di conformità.

Il filo diamantato deve soddisfare, in condizioni normali di

incorrect use of cooling water or its absence determines a decrease in slipping strength, more or less high depending on the type of joints.

In the temperature range where the tests were carried out in the laboratory, this decrease was verified for the 9x30 copper and 9x25 steel junction clamps (Fig.11).

In conclusion, it is noticed that the use of shears to cut the cable in quarries does not allow a perfectly regular surface: this could cause the variability of the results obtained from slipping tests, even for the same type of junction clamps. The use of a high speed abrasive disc for cutting the wire, as recommended in Appendix A of the UNI EN 12385-3 standard ("Steel cables-Information for use and maintenance") could help to improve the performance of junction clamps.

4. REFERENCE STANDARDS

The EU directive 2006/42/CE is implemented in Italy by the decree 17/10 (Machinery Directive).

It establishes the specifications that a machine must respect to be placed on the market. The manufacturer must also make the technical documentation available, and attach the supporting documentation (instructions for use, maintenance, disposal, etc.).

An important consideration derives from Annex I, Chapter I ("Essential safety and health protection requirements") which states: "the machine must be supplied complete with all the essential equipment and special accessories needed to set it up, perform its maintenance and use it in safe conditions". In this regard, it is specified that the diamond wire is not

sold together with the machine, although it represents, according to the definition given above, a work equipment: it is marketed by manufacturers other than those who market the machine. Even the junction clamps, despite being part of the wire, are sold separately.

In this regard, a collaboration between the manufacturers of wires (including joints) and those of machines would be essential to obtain adequate performance in terms of productivity but, above all, in terms of safety.

The Legislative Decree 17/10 defines, for some fields, the utilization coefficients of the assembly, to guarantee an adequate safety level, equal to 5.

Despite the considerable technological advances, the risk of breaking the diamond wire is a very frequent event which, unfortunately, still causes injuries, some of which are fatal. The UNI EN 13236:2016 standard describes the safety requirements for products containing natural or synthetic diamond; it also establishes preventive and protective measures to reduce the dangers deriving from these products through tests for compliance checks.

The diamond wire must satisfy the following requirements under normal working conditions:

- ◆ the support cable must have a minimum strength of 800 N/mm² in relation to the diameter of the wire, in order to withstand fatigue stresses. A multi-core wire is preferable (for example, 6x7 wires on a 19 core);
- ◆ in new traditional wires, the internal diameter of the beads must be 0.4 mm greater than that of the wire, whereas, in the wires used, it must be 0.6 mm greater than that of



lavoro, i seguenti requisiti:

- ◆ il cavo di supporto deve avere una resistenza minima di 800 N/mm² in relazione al diametro del filo, in modo da resistere a sollecitazioni a fatica durante l'impiego. È preferibile un cavo multipolare (ad esempio, 6x7 fili su anima da 19);
- ◆ nei fili tradizionali nuovi, il diametro interno delle perline deve essere di 0,4 mm maggiore di quello del filo, mentre nei fili usati deve essere di 0,6 mm maggiore di quello del filo;
- ◆ tra due pressatori devono essere montate al massimo 5 perline diamantate (diamant-boart.com);
- ◆ nel caso di filo rivestito, tutte le perline devono essere montate sul cavo di supporto tramite plastica o gomma vulcanizzata;
- ◆ i morsetti di giunzione devono resistere ad una tensione minima pari al 30 % del carico di rottura del cavo di supporto;
- ◆ i pressatori devono resistere ad una tensione minima pari 1/12 del carico di rottura del cavo di supporto;
- ◆ il filo non deve superare la velocità periferica di 40 m/s;
- ◆ l'ispezione visiva consente di controllarne possibili difetti, nonostante non sia particolarmente efficace nei fili gommati e plastificati.

5. CONCLUSIONI

Il presente studio ha consentito di valutare alcune fra le principali cause di apertura del circuito a filo diamantato durante il taglio in cava, da quelle già note in letteratura,

come la rottura per sfilamento del morsetto di giunzione e/o la rottura del cavo d'acciaio in prossimità dello stesso, ad altre meno conosciute, come la rottura del morsetto di giunzione. Per quanto riguarda la prima tipologia di rottura, le prove condotte in laboratorio hanno evidenziato che la resistenza a sfilamento dei morsetti di giunzione dipende da tre fattori principali: la tipologia di materiale, la lunghezza e lo spessore del morsetto di giunzione.

Dalle prove di sfilamento è emerso, contrariamente a quanto osservato in cava, che le giunzioni vendute come rame hanno una resistenza a sfilamento maggiore rispetto a quelle in acciaio: il carico di snervamento di una lega al rame è minore di quello di un acciaio, e ciò garantisce una migliore plasticizzazione del morsetto sul cavo di supporto. I valori più elevati di resistenza allo sfilamento sono stati ottenuti da una nuova tipologia di morsetto, non utilizzato in nessuna delle cave indagate, in acciaio "ricotto": il processo termico di ricottura fornisce al materiale una migliore lavorabilità a freddo.

Una lunghezza maggiore del morsetto di giunzione implica un tratto di fune in presa maggiore, con aumento della resistenza a sfilamento. Con lunghezze maggiori di 40 mm si riuscirebbe ad avere una resistenza a sfilamento comparabile con il carico di rottura del cavo di supporto ma, trattandosi del tratto di maggior rigidità del filo diamantato e dovendo questo percorrere circuiti curvilinei, esso deve resistere anche a cicli di fatica flessionale.

the wire;

- ◆ a maximum of 5 diamond beads must be fitted between two pressers (diamant-boart.com);
- ◆ in the case of coated wire, all the beads must be mounted on the support cable using plastic or vulcanized rubber;
- ◆ the junction clamps must withstand a minimum voltage equal to 30% of the breaking load of the support cable;
- ◆ the pressers must withstand a minimum tension equal to 1/12 of the breaking load of the support cable;
- ◆ the wire must not exceed the peripheral speed of 40 m/s;
- ◆ visual inspection allows checking for possible defects, although it is not particularly effective in rubberized and plasticized wires.

5. CONCLUSIONS

The present study has allowed to evaluate some of the main causes of the opening of the diamond wire circuit during the cut in quarries, from some already known in the literature, such as the breakage due to slipping of the junction clamp and/or the breakage of the cable steel near the junction, to others less known, such as the breakage of the junction clamp.

As for the first type of failure, the tests performed in the laboratory have shown that the slipping strength of the junction clamps depends on three main factors: the type of material, the length and the thickness of the clamp.

The slipping tests have shown, contrary to what was observed in the quarry, that the joints sold as copper have a slipping strength greater than those in steel: the yield strength of a

copper alloy is less than that of a steel, and this guarantees a better plasticization of the clamp on the support cable.

The highest slipping strength values were obtained from a new type of clamp, not used in any of the quarries investigated, in "annealed" steel: the thermal annealing process provides the material with a better cold workability.

A greater length of the junction clamp implies a greater stretch of gripped rope, with increased slipping strength.

With lengths greater than 40 mm, it would be possible to reach a pull-out strength comparable with the breaking load of the support cable but, since it is the section with the greatest rigidity of the diamond wire and having to travel this curved loops, it must also withstand cycles of bending fatigue: in this regard, the behavior of the sample 6 of the 9x35 steel clamps is highlighted, where there was a failure not due to slipping, but due to the progressive breakage of the cable strands.

Considering the thickness of the junction clamp, on the other hand, the proportionality is inverse: the smaller its outer diameter (assuming a constant internal diameter of 5 mm), the smaller the resistant section and, consequently, the force necessary to yield the material.

Although the junction clamps are recognized as very critical elements during cutting, when they are sold, no supporting documentation is released which shows how they must be assembled on the diamond wire.

The tests have shown that by not performing the compression correctly, or using inadequate instrumentation, a 50% reduction in the slipping strength of the clamp can be obtained.





A tale proposito si evidenzia il comportamento del campione 6 dei morsetti in acciaio 9x35, dove si è verificato un cedimento non per sfilamento, ma per rottura progressiva dei trefoli del cavo.

Prendendo in considerazione lo spessore del morsetto di giunzione, invece, la proporzionalità è inversa: minore è il suo diametro esterno (assumendo un diametro interno costante di 5 mm), minore risulta la sezione resistente e, di conseguenza, la forza necessaria a portare a snervamento il materiale.

Nonostante i morsetti di giunzione siano riconosciuti come elementi di maggior criticità durante il taglio, all'atto della vendita non viene rilasciata nessuna documentazione d'appoggio che riporti come questi debbano essere assemblati sul filo diamantato.

Le prove hanno dimostrato che non effettuando correttamente l'operazione di compressione o utilizzando una strumentazione non adeguata, si può avere una riduzione del 50% della resistenza a sfilamento del morsetto.

Ciò dimostra come, nonostante la tecnica del filo diamantato si sia affermata da ormai più di 40 anni, si faccia sempre affidamento alla "best practice" dei cavaatori più che a regole e norme ben precise.

Per la seconda tipologia di rottura, si considera come carico di rottura a trazione del cavo di supporto quello certificato dai costruttori (circa 1800 kg), il che conferma le ipotesi

riscontrate maggiormente in letteratura, per cui la rottura del cavo si verifica maggiormente per fatica in seguito a cicli di sforzi flessionali.

Di conseguenza, un futuro studio su questo fenomeno potrebbe sicuramente favorire un miglioramento degli aspetti di sicurezza in cava.

La rottura del morsetto di giunzione per trazione è quella meno frequente, considerando i valori ottenuti dalle prove di trazione statica e secondo quanto riferito dai cavaatori e, soprattutto, si verifica ad un carico superiore rispetto a quello di sfilamento del cavo d'acciaio dal morsetto stesso. Pressando 8 volte il morsetto di giunzione, il materiale si incrudisce fino a raggiungere la rottura per carichi superiori a 1000 kg, mentre i carichi di sfilamento registrati sono intorno a 700-800 kg.

In conclusione, una più approfondita conoscenza dei materiali utilizzati e un registro che riporti le specifiche di un determinato taglio (ad. esempio, lunghezza del filo, superficie tagliata, resa del filo e così via) potrebbero consentire un'analisi mirata delle cause di rottura, inducendo i costruttori a definire criteri di sostituzione del filo diamantato basati su valori numerici più che su ispezioni visive dettate dall'esperienza dei cavaatori, per salvaguardare la salute dei lavoratori ed evitare le frequenti rotture del filo diamantato.

This shows that, although the diamond wire technique has been established for more than 40 years, reliance is always made on the "best practice" of the quarry workers, rather than on specific rules and regulations.

As for the second type of failure, the tensile strength of the support cable is considered to be the one certified by the manufacturers (about 1800 kg), which confirms the hypotheses more found in the literature, whereby the cable breakage occurs mainly due to fatigue, following bending stress cycles.

Consequently, a future study on this phenomenon could certainly favor an improvement in safety in the quarry.

The rupture of the junction clamp due to traction is the least frequent, considering the values obtained from the static tensile tests and as reported by the quarrymen and, above all, it occurs at a higher load than that of slipping of the steel cable from the clamp itself.

Pressing the joint clamp 8 times, the material hardens until it reaches the breakage for loads over 1000 kg, while the recorded slipping loads are around 700-800 kg.

In conclusion, a more in-depth knowledge of the materials used and a register showing the specifications of a given cut (for example, wire length, cut surface, wire yield and so on) could allow a targeted analysis of the causes of breakage, inducing manufacturers to define replacement criteria for the diamond wire based on numerical values rather than on visual inspections dictated by the experience of quarry workers, to safeguard workers' health and avoid the frequent breakages of the diamond wire.

6. REFERENCES / BIBLIOGRAFIA

- Calderale P. M., 1989. Analisi delle sollecitazioni, fatica e rigidità delle funi metalliche, tratto da Testimonianze - 75° Anniv. Franco Levi, Levrotto & Bella Ed., Torino.
- Callister, W.D. (2007) Materials science and engineering: an introduction. 7th Edition, John Wiley & Sons, New York. W. D. - "Materials Science and Engineering: an introduction", 7th edition, 2007.
- Coli, M. et Al, 2002. Studi conoscitivi sui bacini marmiferi industriali di Carrara: un contributo per la gestione pianificata delle attività - Suppl. GEAM - Geingegneria Ambientale e Mineraria, quaderno 24. Publisher: Associazione Georisorse e Ambiente.
- Comitato Paritetico Marmo, 2000. Studio sul filo diamantato a cavo protetto e materiali di corredo al taglio, Pietrasanta (LU), Italia.
- Dunda S., Kujundzic T., 2001. Tensile strength of steel ropes of diamond wire saws, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Croazia.
- Fresia P., 2019. Valutazione delle prestazioni di tagliatrici a filo diamantato mediante analisi sperimentali in cave di marmo. Tesi di laurea magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Politecnico di Torino.
- Lovera E. 2001. Razionalizzazione e sviluppo di attività estrattive per pietre ornamentali. Tesi di dottorato in Geingegneria Ambientale, Politecnico di Torino.
- Nicodemi W., 1986. Metallurgia, Masson Italia Ed., Milano.
- Tantussi, G., Lanzetta, M. & Romoli, V., 2003. Diamond wire cutting of marble: state of the art, modeling and experiments with a new testing machine, A.I.Te.M VI, Proc. 6th Int. Conf. Italian Assoc. Mech. Tech., Ed. L. Carrino, Gaeta (LT), Italy, Sep. 8-10, 2003: 113-126.
- Tantussi, G., 2008. Studio del comportamento del filo diamantato a seguito di rottura, Atti del Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione, 007 (2008), Università di Pisa.

