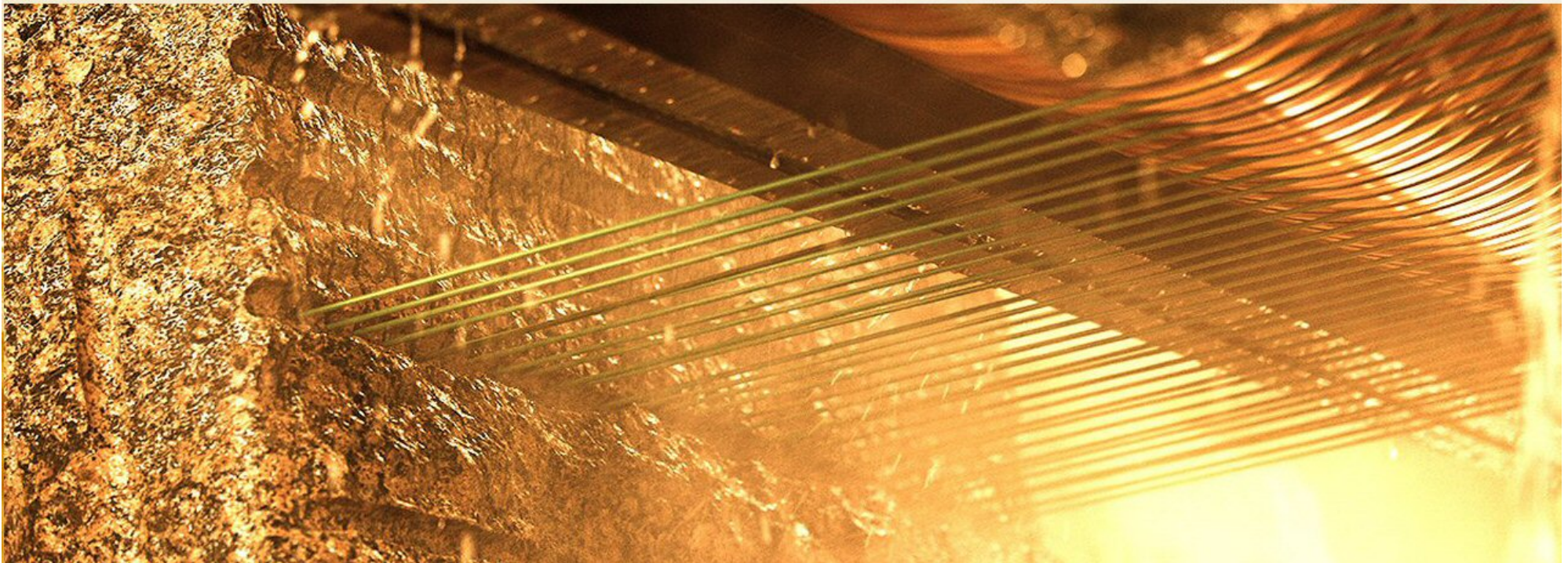




Evoluzione e stato dell'arte sulla tecnologia di segagione del granito

N. Careddu¹, O. Cai²

¹Università degli Studi di Cagliari; ²Diamond tools production Consultant



Cenni storici (1)

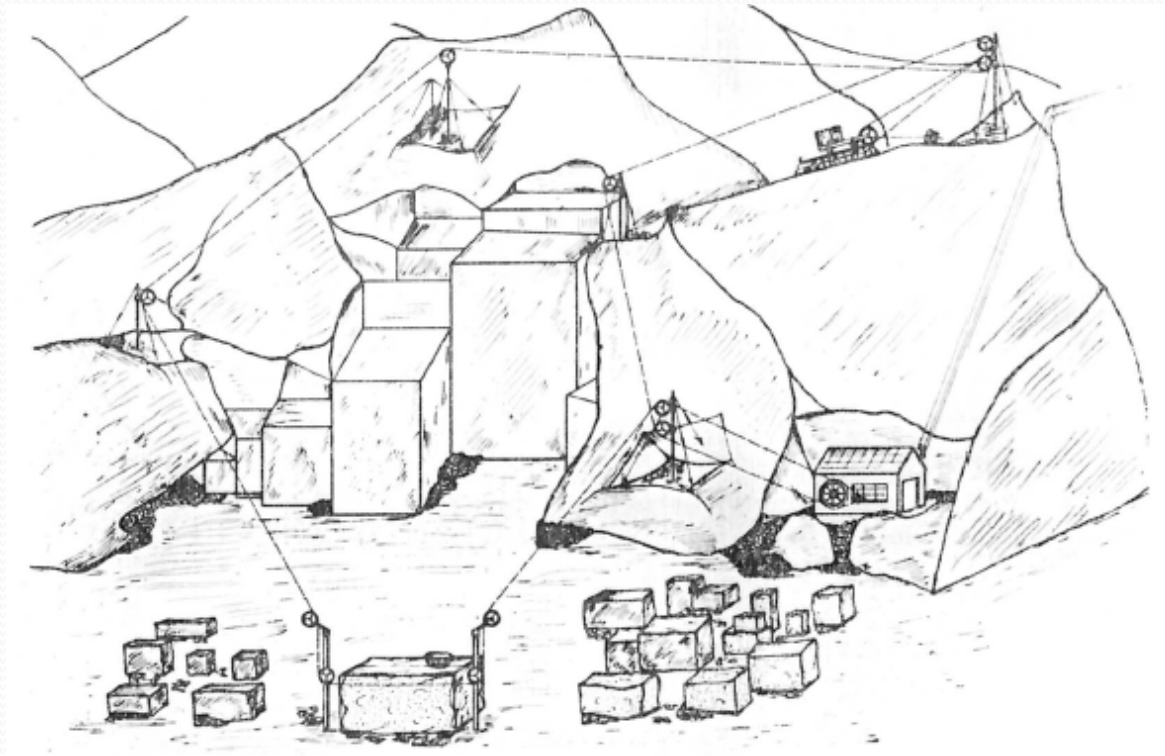
“Sed quisquis primum invenit secare, luxuriam que dividere, importuni ingenii fuit. Arena hoc fit, et ferro videtur fieri, serra in praetenui linea premente arenas, versandoque, tractu ipso secante”.

Caius Plinius Secundis, 77 d.C. Historiarum Mundi, vol. X, Liber XXXVI
Lapidum natura, sec. IX.



Cenni storici (2)

- 1854: l'ingegnere francese E. Chevalier inventò e brevettò una macchina per la segagione della roccia basata sul filo elicoidale.



Schema dell'impianto di filo elicoidale in cava (fonte: Capuzzi)



Cenni storici (3)

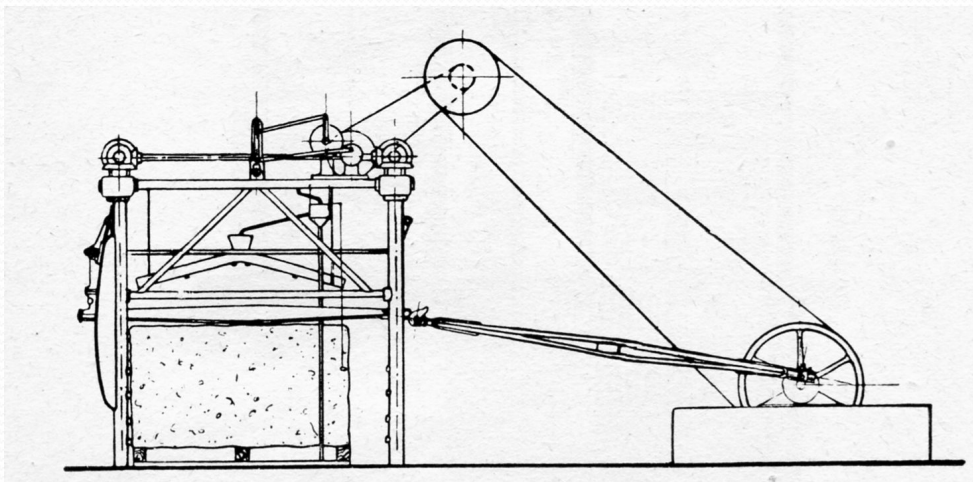
- 1897: introduzione della puleggia monticolare che permise di tagliare al monte in qualsiasi posizione e senza scavo di pozzetti.



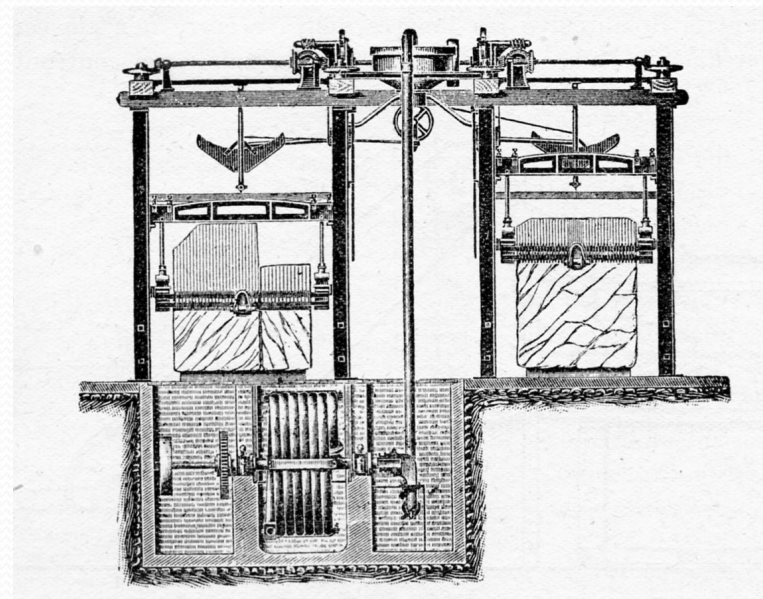
Puleggia penetrante (fonte: Capuzzi)



Cenni storici (4)



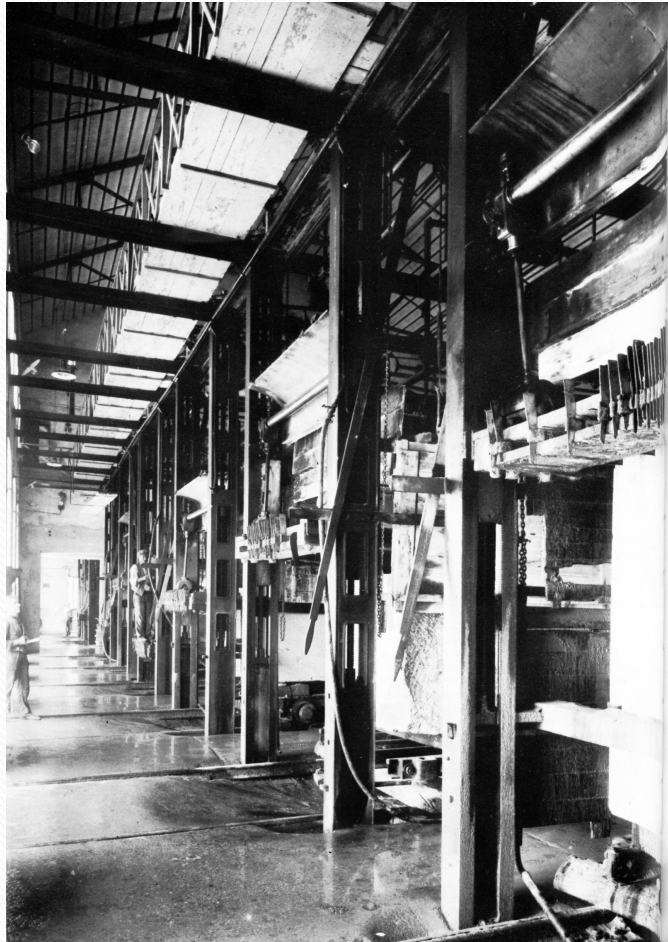
Sega a telaio per il taglio in lastre (fonte: Salerno, 1947)



Sega a telaio per il taglio con pompa a serpentina in lastre (fonte: Salerno, 1947)



Evoluzione del telaio per granito(1)



- fine anni '50: sostituzione della sabbia con la ghisa e introduzione della calce.

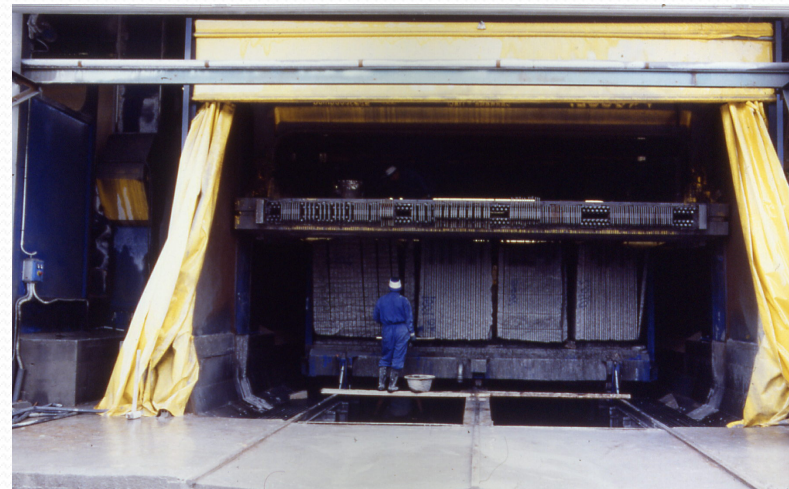
Veduta frontale dei telai di una segheria agli inizi degli anni '50 (fonte: Lisanti, 1986).



Evoluzione del telaio per granito(2)



I telai per granito installati a Tempio Pausania nel 1978 (fonte: Careddu, 1993).

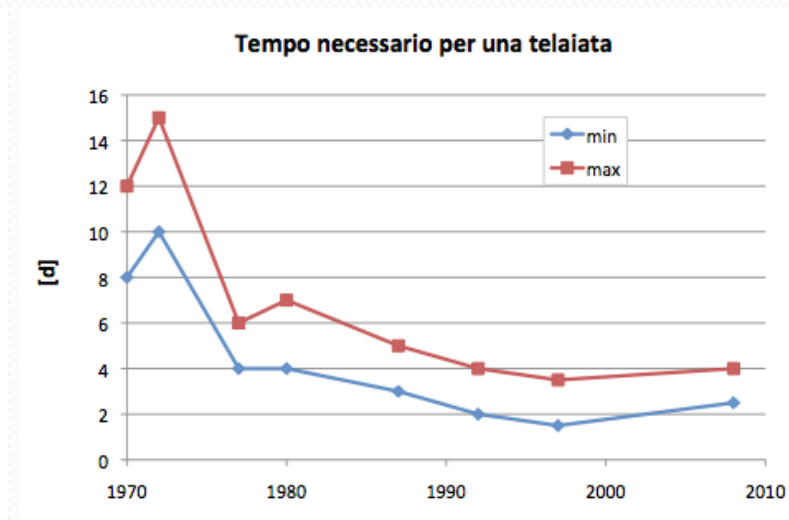
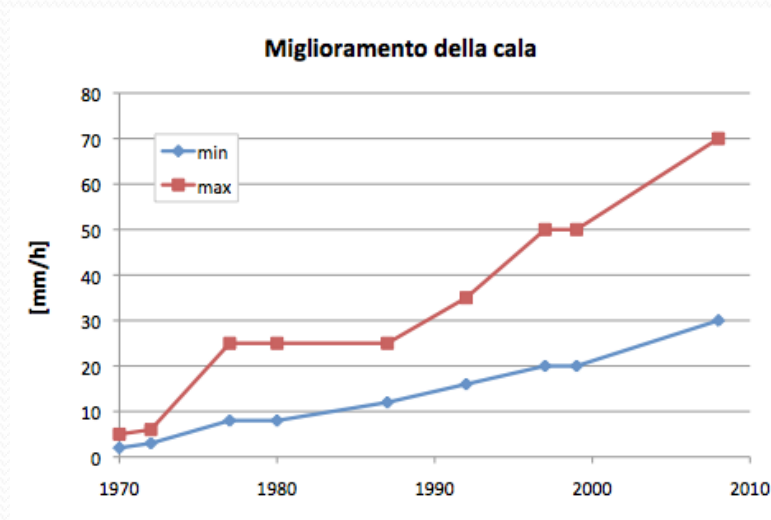


Moderno telaio per granito (fonte: Primavori, 2008).



Evoluzione del telaio per granito(3)

	1970	1977	1987	1997	2008
Average downfeed-rate [mm/h]	2-5	6-20	8-22	18-50	
Cast-iron shot consumption [kg/m ²]	4-6	-	-	-	-
Steel shot consumption [kg/m ²]	-	2-5	1.5-5	1-5	2.5
Gang saw width [m]	1.8	2.5	3.5	5.2	7.5
Max number of blades	30				260
Main motor's power [kW]	40			135	240
Average monthly output [m]	1,500-2,500				5,500-15,000



La tabella e i grafici sono stati elaborati partendo da dati propri e di Pirola (1988), Citran (1997, 2000), Primavari (2008).



Tecnologie concorrenti (1)



Taglio di un blocco di granito mediante dischi diamantati con 3 m diametro (fonte: Spielvogel, 1991)



Tecnologie concorrenti (2)



Modello di fresa a disco gigante (fonte: Primavori, 2008).



Fresa gigante (Pedrini)



Tecnologie concorrenti (3)

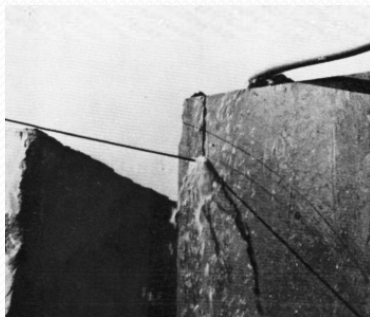


Segatrice a catena diamantata per blocchi di granito "Swingbreton HC" (fonte: Breton S.p.A., 1995).

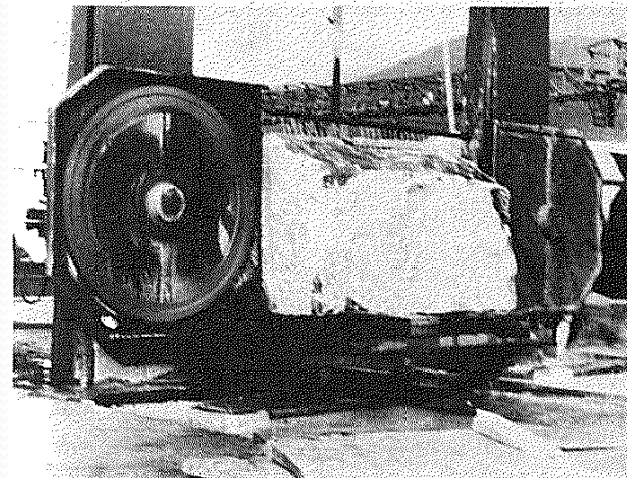


Evoluzione del filo diamantato

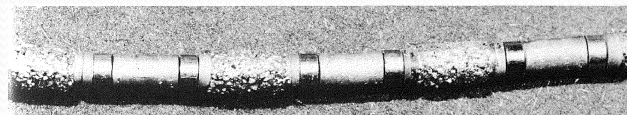
- **anni '50:** primi tentativi di costruire un filo diamantato;
- **1968-69:** a Carrara viene sperimentata la Te-Fil/69, prima macchina stazionaria monofilo per la riquadratura dei blocchi (equipaggiata con un filo diamantato con perline elettrodepote);
- **anni '70:** ulteriori test in laboratorio della Diamant Boart, per migliorare sia la resa (vita utile) sia la produttività del filo diamantato;
- **1978:** la tecnologia del filo diamantato si afferma definitivamente nelle cave del comparto Apuano.



*Prove di segagione del granito
(fonte: Hallez, 1971).*



*La prima segatrice a filo diamantato,
1969 (Indiaqua).*

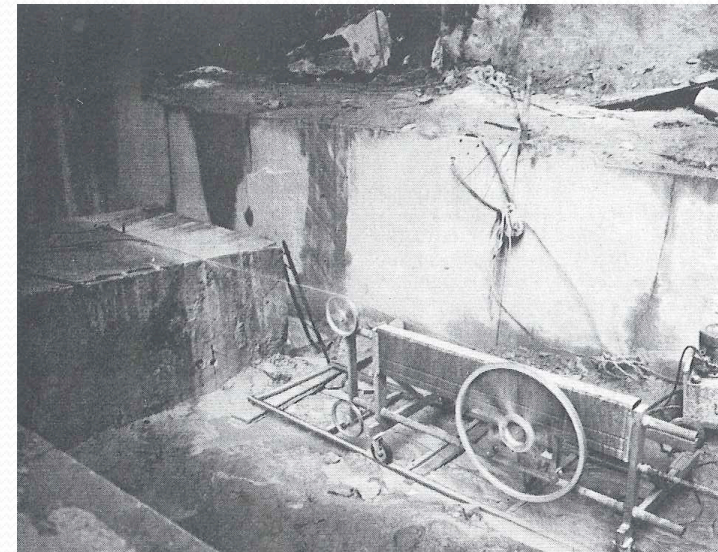


Il filo diamantato, 1968 (Indiaqua).



La “bicicletta” di Madrigali

- **1977:** inizia la produzione e messa in commercio della “bicicletta”, inventata da **Luigi Madrigali** (1932-2006).
- **Maggio 1980:** 105 macchine erano già state prodotte!
- Comparato al filo elicoidale:
 - Costi di segagione ridotti di 2,5 volte
 - Produttività aumentata da 1 a 4-6 m²/h
 - Notevoli vantaggi logistici e ambientali
- **1983:** circa 500 segatrici a filo diamantato erano operanti nelle cave, più un piccolo numero di macchine stazionarie per la riquadratura dei blocchi.

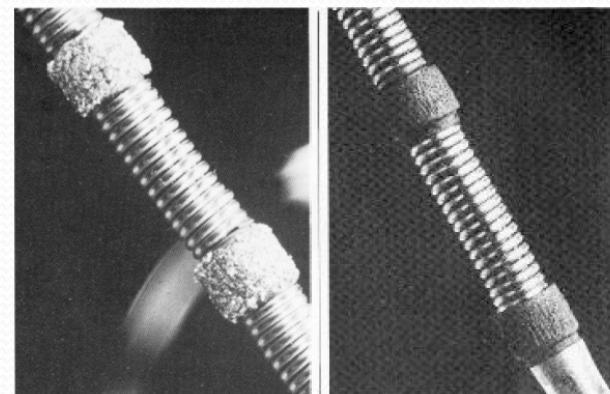


L'innovativa macchina di Madrigali, nella sua configurazione verticale, nell'atto di segare il marmo dalla bancata (fonte: Trancu, 1980).

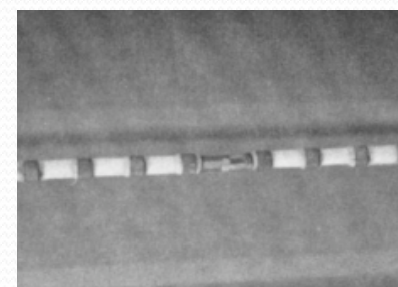


Limiti del FD e miglioramenti

- A quel tempo (**1983**), il filo diamantato era usato solo nell'escavazione di marmo o calcare da taglio.
- Le perline erano fabbricate per elettrodeposizione del diamante. Il loro uso era sconsigliato sul granito per motivi economici.
- **1983-84**: Comincia la produzione di perline ottenute dalla sinterizzazione di polveri metalliche miscelate con diamanti. Alcuni test mostrarono che la vita utile di tali perline era maggiore di quelle prodotte con l'elettrodeposizione sebbene la produttività (in m²/h) era inferiore.
- **1985-86**: Il miglioramento delle perline sinterizzate durante il consumo le rese idonee alla segazione del granito.



Fili con perline elettrodeposte (sinistra) e sinterizzate (destra) (fonte: Thoreau, 1984).

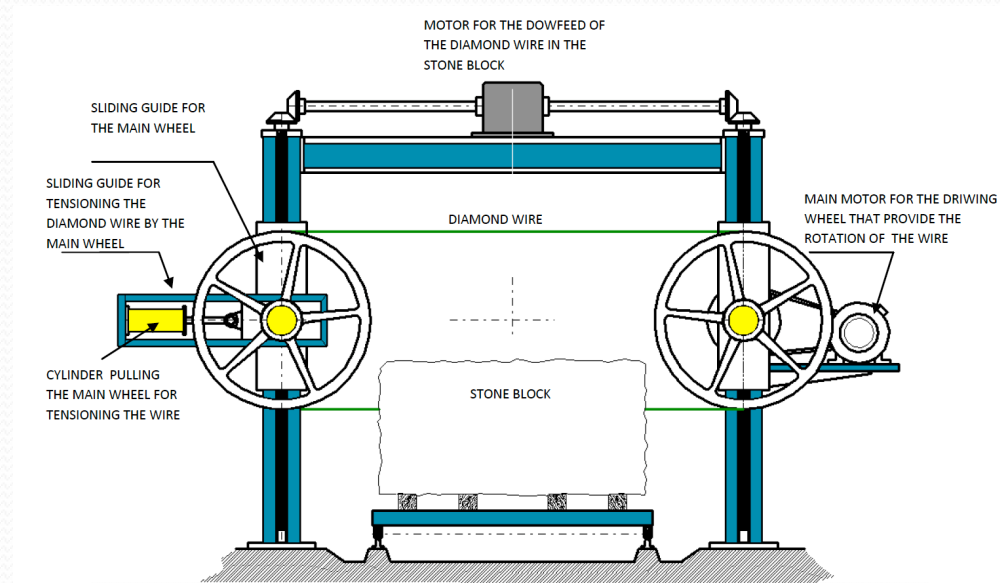


Filo diamantato plastificato con giunzione in rame (fonte: Daniel, 1986)



Le prime monofilo (1)

- inizi anni '80: immissione nel mercato delle prime segatrici monofilo stazionare sono con lo scopo della riquadratura dei blocchi.
- La superficie di taglio di tali macchine era limitata dal diametro dei volani e dalla loro distanza:
 - lunghezza blocco < 2 m;
 - velocità max di segagione = 0.5 m²/h



Schema di una vecchia macchina monofilo a due volani (fonte: Cai).



Le prime monofilo (2)

- La Laser 90 MG prodotta dalla Micheletti superò quei limiti. Le sue prestazioni furono:
 - max lunghezza del blocco = 3,5 m;
 - velocità di segagione: 1,8 – 2,5 m²/h sui graniti e 5-7 m²/h sui marmi;
 - i costi di lucidatura furono fortemente ridotti;
 - diminuzione dei costi di trasporto.



Micheletti Laser 90 MG sawing a red granite block (fonte: Daniel, 1986).



L'ingresso delle multifilo sul mercato (1)

Letteralmente, ogni macchina che monta più di un filo può essere definita una “multifilo”.

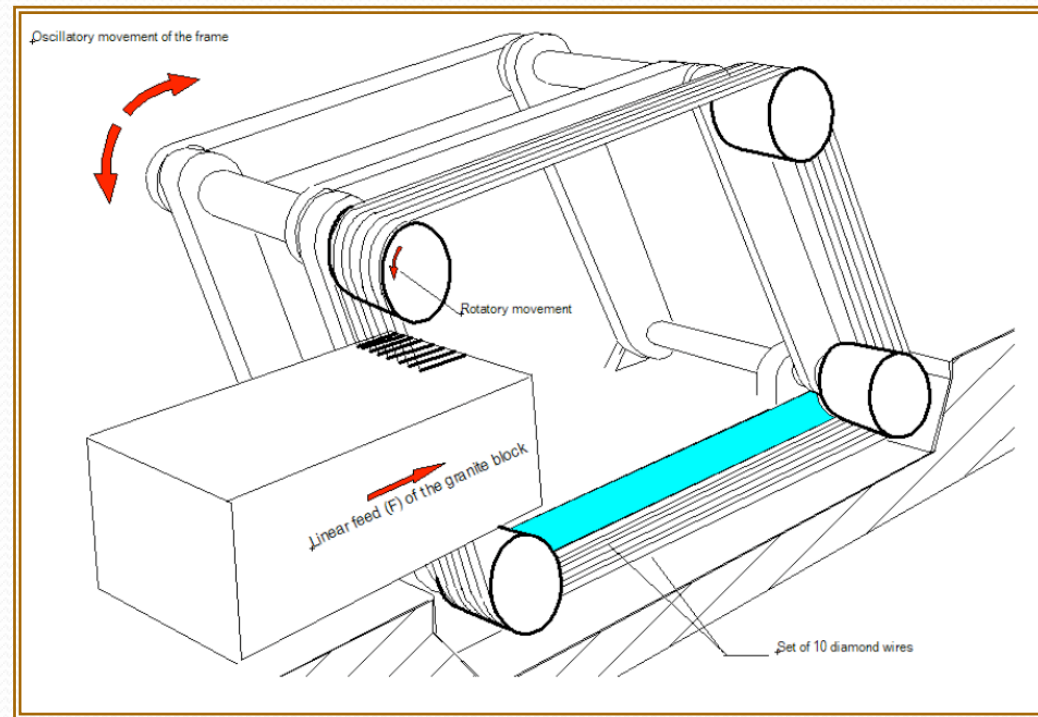
In realtà con tale termine si chiamano gli impianti equipaggiati da almeno 20 fili!

- Pellegrini Meccanica,
- Bidesimpianti (ora acquisita dalla Breton),
- Wires Engineering,
- Simec,
- Gaspari Menotti,
- Pedrini,
- Socomac,
- Barsanti Macchine,
- BM.



L'ingresso delle multifilo sul mercato (2)

- 1988-89: "ASSO" Project
 - impianto a 10 fili diamantati ($\Phi = 11$ mm) per il taglio verticale del blocco.

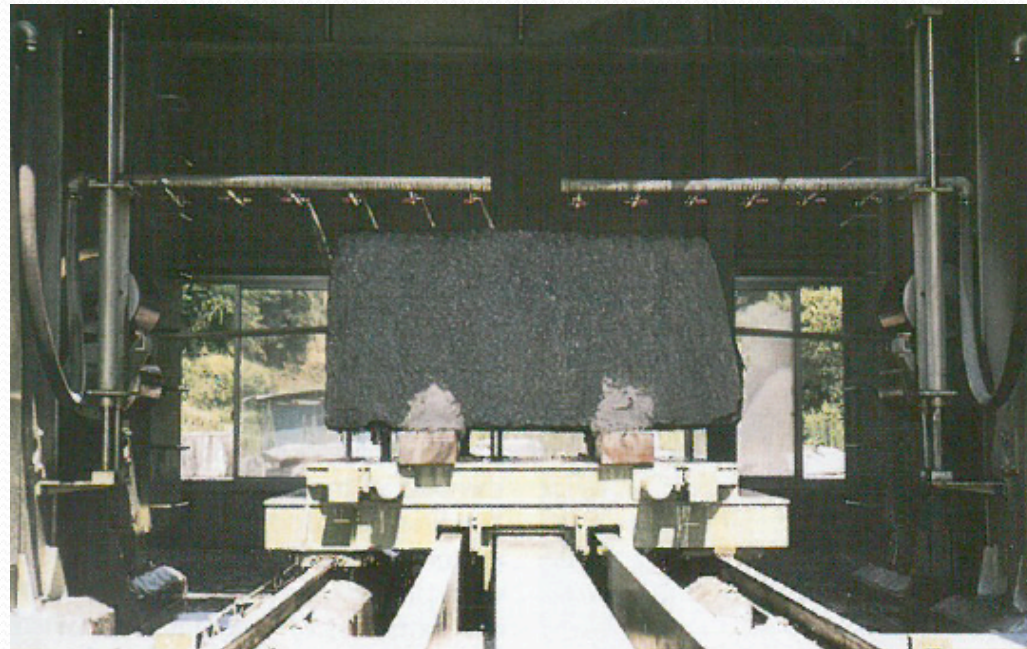


Schema dell'Advanced Sawing System Operating (from Cai, 1988).



L'ingresso delle multifilo sul mercato (3)

- 1988-94: Yamana
 - 10 fili diamantati ($\Phi = 11 \text{ mm}$)
 - produttività di $10 \text{ m}^2/\text{h}$ sul granito



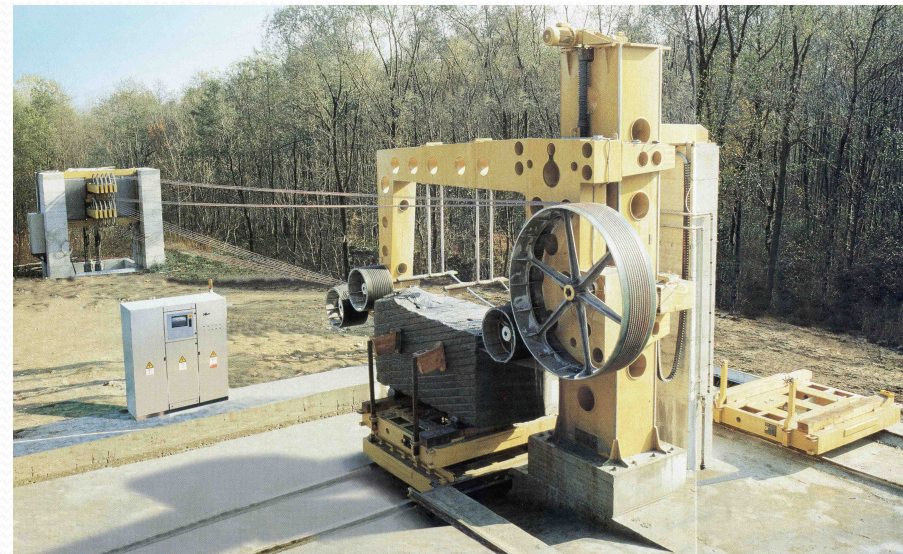
L'impianto a 10 fili della Yamana (fonte: Yamamoto, 1995).



L'ingresso delle multifilo sul mercato (4)

- 1997: Falcon 600
 - lastre spesse 40 mm di graniti della V classe di segabilità
 - 10 fili diamantati wires ($\Phi = 8 \text{ mm}$)
 - produttività: $250 \text{ m}^2/\text{d}$
 - riduzione dei tempi a valle di levigatura e lucidatura di oltre il 20 %.
- la segagione di 1 m^2 di granito richiedeva solo 10 g di consumo di filo diamantato comparati con i 6,5 kg di abrasivo (in termini di graniglia, lame e calce) consumati con il telaio tradizionale.
- svantaggio: dimensioni notevoli dell'impianto

Il primo modello del Falcon600 (fonte: Wires Engineering, 1997).



L'evoluzione delle multifilo (1)

- 2001: Bides 50
 - 50 fili diamantati ($\Phi = 6,7$)
 - facile installazione
 - dimensioni massime del blocco: 3,8 m lunghezza, 2,1 m altezza
 - cala = 20 cm/h su graniti di classe III

*L'impianto multifilo Bides 50
(fonte: Anker, 2001).*



L'evoluzione delle multifilo (2)

- 2009: Mirage 80
 - 80 fili diamantati
 - taglio di lastre di spessore 2 cm
- 2010: Mirage 4000
 - 133 fili diamantati
 - volani larghi 4 m



Mirage 4000 (from Barsanti Macchine, 2012).

Circa 320 impianti multifilo sono attualmente operanti nel mondo.



Telaio vs Multifilo

Confronto delle prestazioni tecniche tra il tradizionale telaio a graniglia e l'impianto multifilo. Sono stati considerati blocchi di granito, della III classe di segabilità, della dimensione media di $3 \times 2.2 \times 1 \text{ m}^3$. Spessore delle lastre: 2 cm. Si sono infine considerate 5000 ore lavorative annue.

	Steel-shot gangsaw	Multi-wire machine (60 wires, Ø 6 mm)
Primary engine power [kW]	75 - 135	220
Down-feed rate [mm/h]	30	280
Average gangsaw-cut time [h]	80	8 - 9
Average hourly output [m^2/h]	3.2 (37 blades) 4.5 (50 blades) 9.0 (100 blades) 12.6 (140 blades)	30.2 (37 wires)
Sawing yield [m^2/m^3]	36.0	36.0
Tool service life	$0.53 \text{ m}^2/\text{kg}_{\text{blade}}$	$8 \text{ m}^2/\text{m}_{\text{wire}}$
Block yield [m^3/m^3]	0.72	0.72
Average annual output [m^2]	16,200 (37 blades) 22,500 (50 blades), 45,000 (100 blades) 63,000 (140 blades)	151,200



Motivi del successo delle multifilo (1)

- Motivi economici
 - costi di installazione. Es.: (nel 2000): telaio 65,000 €, multifilo 17,000 €
 - nei telai moderni si raggiunge una cala media di 3.5 – 4 cm/h, mentre le multifilo raggiungono i 20 cm/h;
 - migliore qualità delle lastre con le multifilo → minori costi di lucidatura delle lastre a valle;
 - Costi energetici: circa 1,8 €/m² con i telai contro i 0,9 – 1,0 €/m² con le multifilo
 - costi ambientali, legati alla messa a discarica degli sfridi, inferiori
- altre voci



Motivi del successo delle multifilo (2)

Confronto dei costi unitari di segagione tra il tradizionale telaio a graniglia e l'impianto multifilo. Sono stati considerati blocchi di granito, della III classe di segabilità, con dimensioni medie quali lunghezza 2,80 m e altezza 1,98 m. Si sono infine considerate 20 ore lavorative giornaliere per 250 giorni lavorativi annui.

	Steel-shot gangsaw (60 blades)	Multi-wire machine (60 wires)
Annual output [m ²]	27,000	151,200
Delivered price plus installation cost [€]	560,000	650,000
Ownership cost [€]	2.96	0.61
Energy cost [€/m ²]	1.60	0.80
Steel shot cost [€/m ²]	1.79	---
Blade cost [€/m ²]	1.48	---
Diamond wire [€/m ²]	---	4.50
Maintenance cost [€/m ²]	0.30	0.01
Labour cost [€/m ²]	1.93	0.08
Waste disposal cost [€/m ²]	0.50	0.41
Calibrating cost (before honing/polishing) [€/m ²]	0.05	0.00
Other costs [€/m ²]	0.61	0.01
TOTAL COST [€/m²]	11.22	6.42



Impianti multifilo attualmente sul mercato (1)



Pellegrini Polywire 5/32



Breton Gold



Wires Engineering Epica 65



Simec Simecwire 70



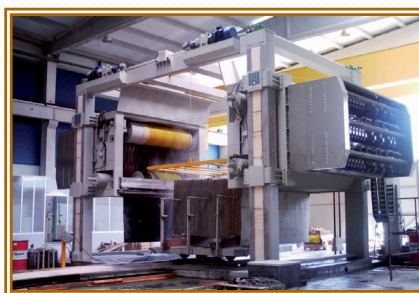
Gaspari Menotti GMW 2000



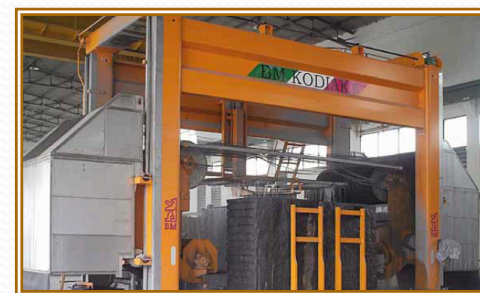
Pedrini GS-200-W64



Socomac 70 wires



Barsanti Macchine Mirage

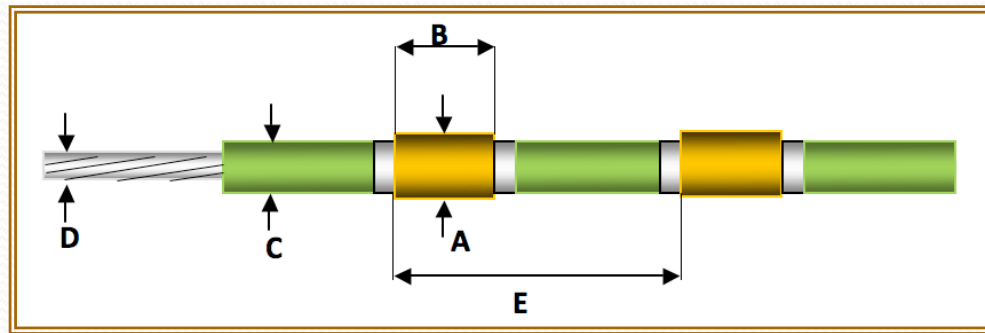


BM Kodiak



Impianti multifilo attualmente sul mercato (2)

- Per segare più lastre da un blocco, il diametro esterno del filo diamantato è stato ridotto dalla dimensione originaria dell'utensile usato nelle cave (11 mm) negli ultimi 20 anni sino a 6,2 mm; il cavo di acciaio ha ovviamente seguito lo stesso andamento.



Dimensioni dei fili diamantati più comunemente usati nelle multifilo

A - Bead external diameter [mm]	B - Diamond alloy length [mm]	C - Plastic external diameter [mm]	D - Steele rope diameter [mm]	E - Beads pace [mm]
6.2	6.5	4.7	3.5	25 - 26
6.5	6.5	4.7	3.5	25 - 26
7.3	6.5	5.0	3.7	25 - 28

Sviluppi futuri

- Macchine
 - velocizzare la sostituzione del set dei fili diamantati
- Filo diamantato
 - Ulteriori studi devono essere fatti circa la possibilità di sostituire l'attuale cavo in acciaio con materiali alternativi.
- Comportamento degli operatori
 - Maggiore e più onesta cooperazione nella catena “produttore del filo diamantato – produttore della macchina – utente di entrambi”



Bibliografia

- Careddu, N., Cai, O., 2014. Granite sawing by diamond wire: from Madrigali “bicycle” to modern multi-wires. *Diamante – Applicazioni & Tecnologia*, n. 79, Anno 20, Dicembre 2014, pagg. 33-50. Ed. G & M Associated Sas. (Bibliografia ivi compresa)
- Salerno, F.F., 1947. Elementi tecnologici su materiali lapidei e litoidi, 3° ed. Edizioni CEA – Milano
- Lisanti, V., 1986. Tecniche di trasformazione. In: *Il marmo nel mondo*. Società Editrice Apuana Srl, Carrara, Italy.



Evoluzione e stato dell'arte sulla tecnologia di segagione del granito

Grazie per la vostra attenzione!

N. Careddu¹, O. Cai²

¹Università degli Studi di Cagliari, Italy - ncareddu@unica.it

²Diamond tools production Consultant – osvaldo.cai3@tin.it

