



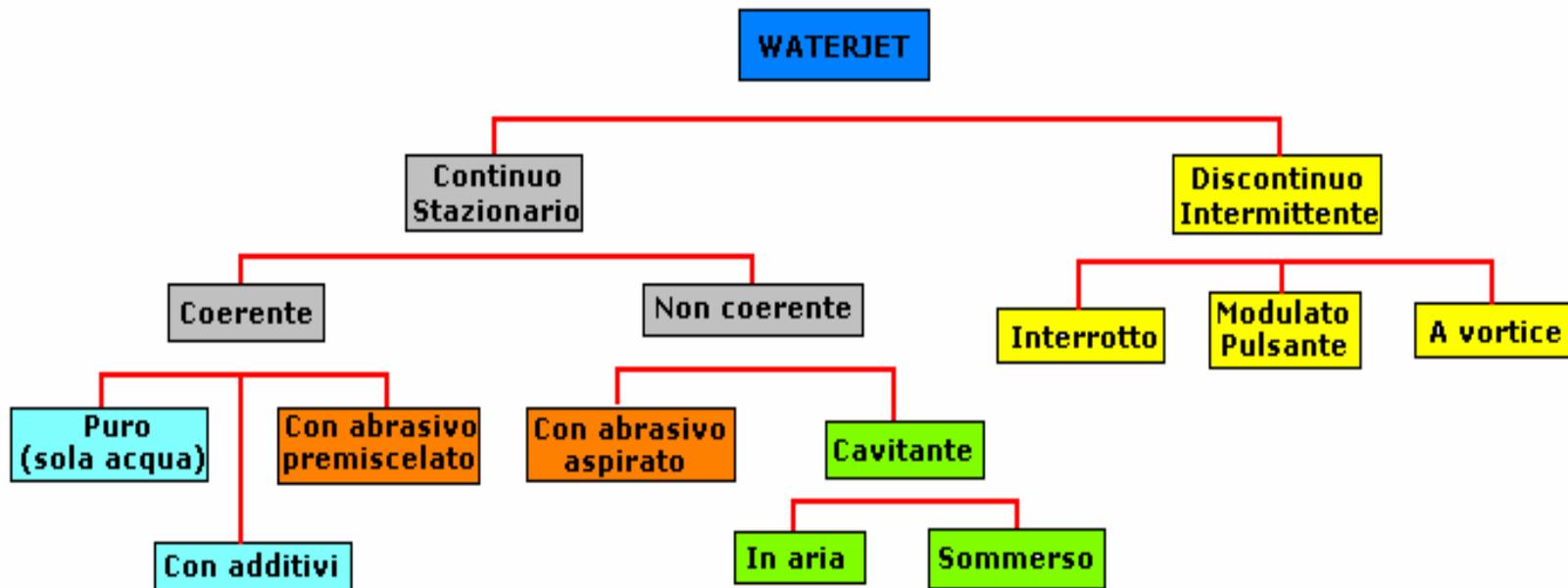
APPLICATION OF WATER JET IN ROCK AND MINERAL ENGINEERING

R. Ciccu
Department of Mining and Minerals Engineering
University of Cagliari
Cagliari, Italy



ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa September 23-26, 2007

CLASSIFICAZIONE DEI GETTI D'ACQUA AD ALTA VELOCITÀ



Pressione p [MPa]

Velocità del getto $u = \sqrt{2 p \cdot 10^6 / \rho}$ [m/s]

ρ = massa volumica dell'acqua [kg/m³]

Portata d'acqua Q = $60 u \cdot 10^{-1} S_e \cdot 10^{-4}$ [l/min]

S_e = Sezione efficace = $C_v \pi d^2 / 4$ [mm²]

C_v = Coefficiente di contrazione della vena (0,6 – 0,9)

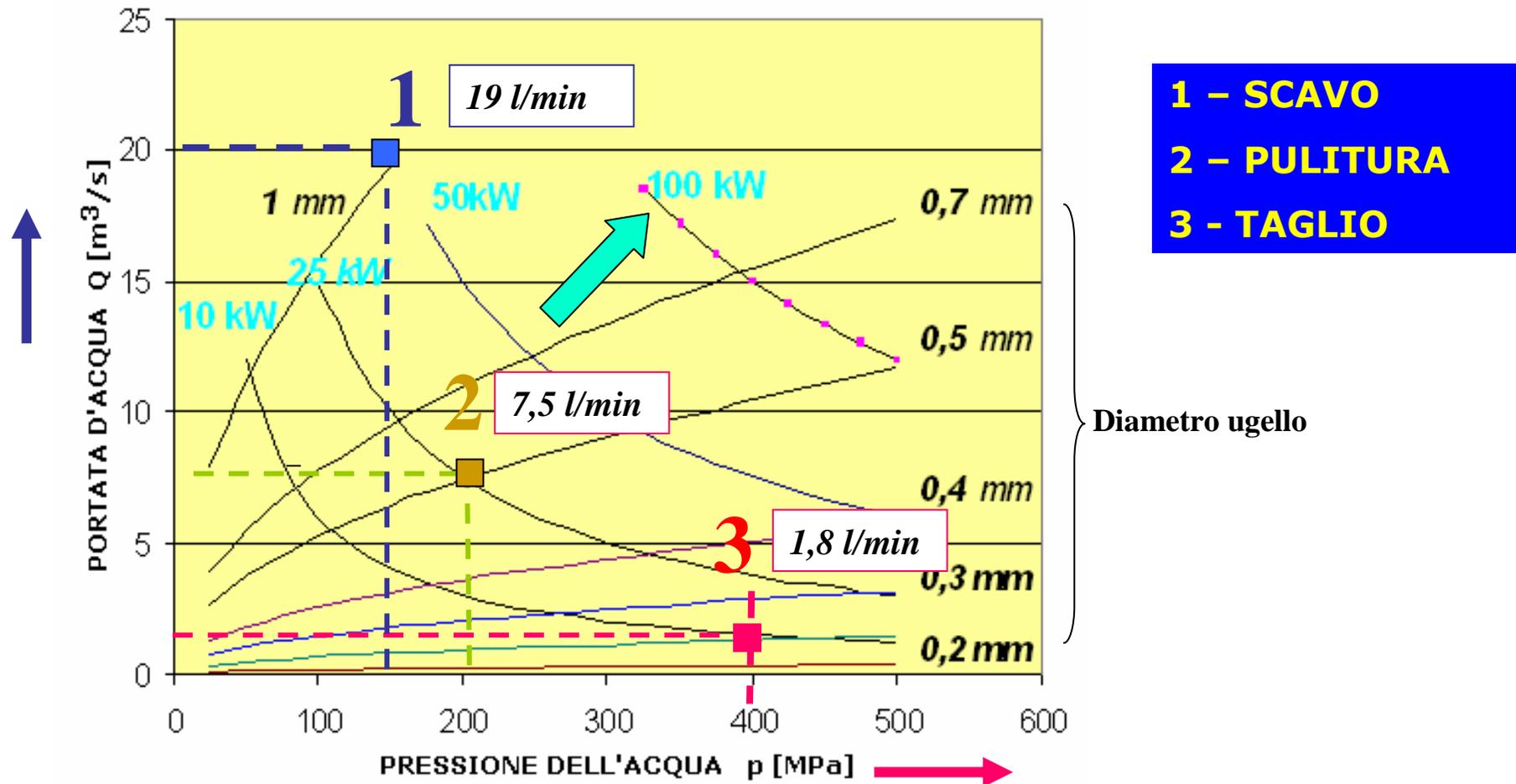
d = diametro dell'ugello [mm]

Potenza idraulica del getto W = $P Q / 60$ [kW]

POTENZA IDRAULICA DEL GETTO

$$P = Q \cdot p \quad [W]$$

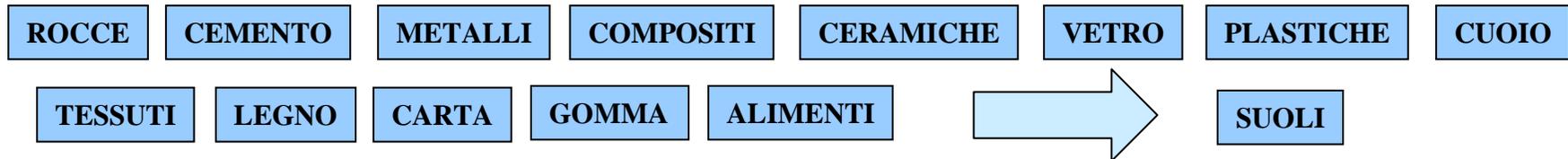
Q = portata d'acqua [m³. s⁻¹], p = pressione dell'acqua [Pa]



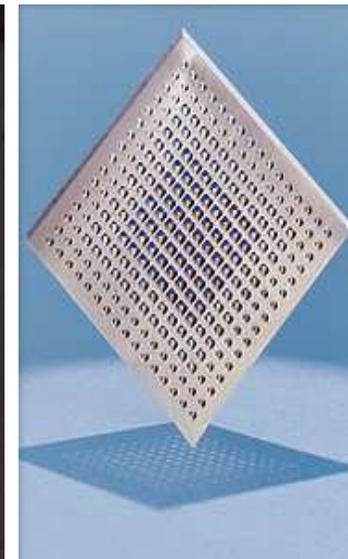
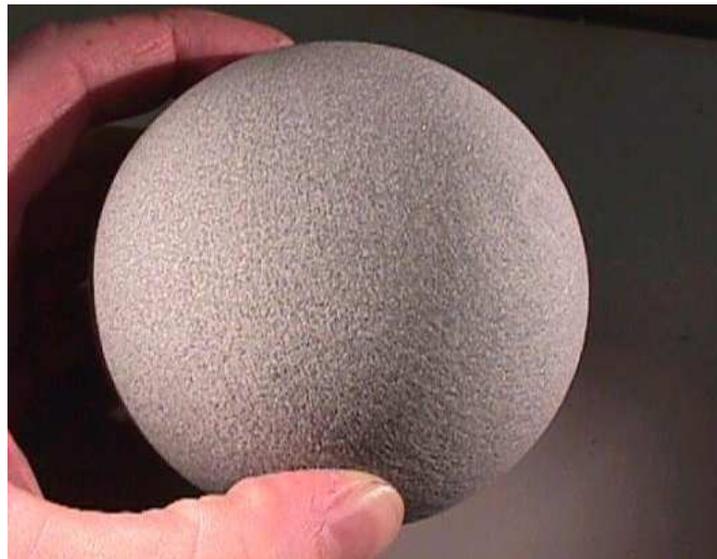
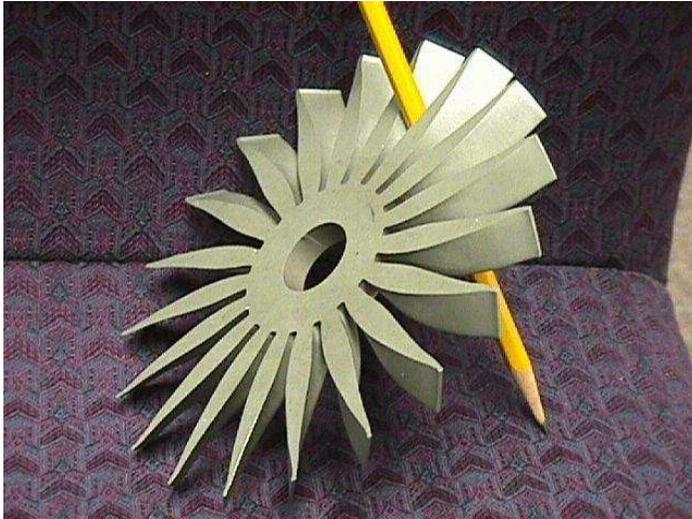
APPLICAZIONI DELLA TECNOLOGIA WATERJET



ACQUA TRATTATA (filtrata a < 5 microns)



APPLICAZIONI DELLA TECNOLOGIA WATERJET



Taglio, perforazione, lavorazioni in 3D



ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007



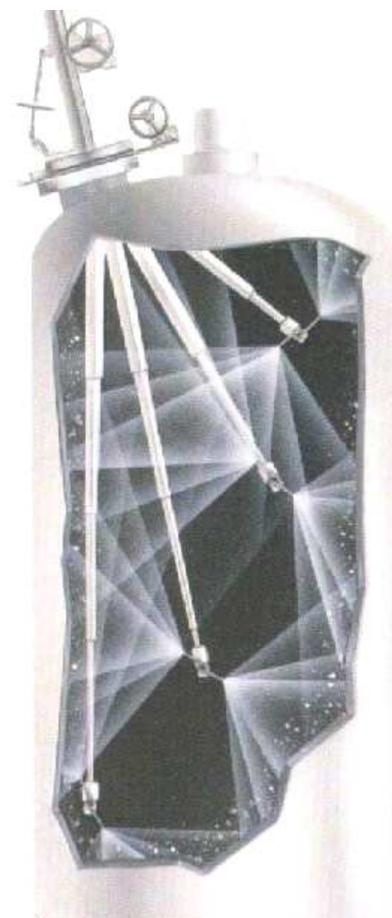
APPLICAZIONI DELLA TECNOLOGIA WATERJET



Sverniciatura e rimozione della ruggine da superfici metalliche



Risanamento di una zona contaminata da petrolio



Pulitura e disincrostazione delle pareti interne di un reattore

PULITURA INDUSTRIALE

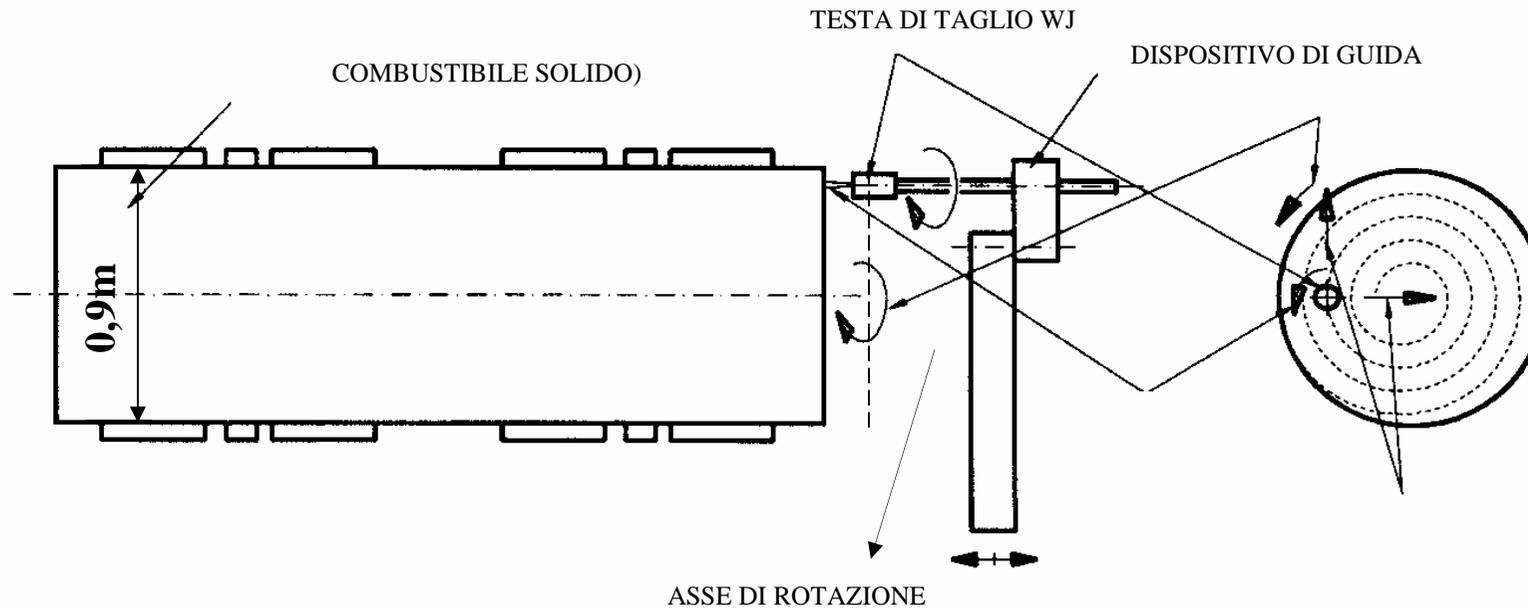
APPLICAZIONI DELLA TECNOLOGIA WATERJET

IDRODEMOLIZIONE

Tipici cantieri di rifacimento di manti stradali con la tecnica dell'idrodemolizione.



APPLICAZIONI DELLA TECNOLOGIA WATERJET



Smantellamento dei Missili SS 23

POMPE A PISTONI

VALVOLA DI SICUREZZA

USCITA ACQUA

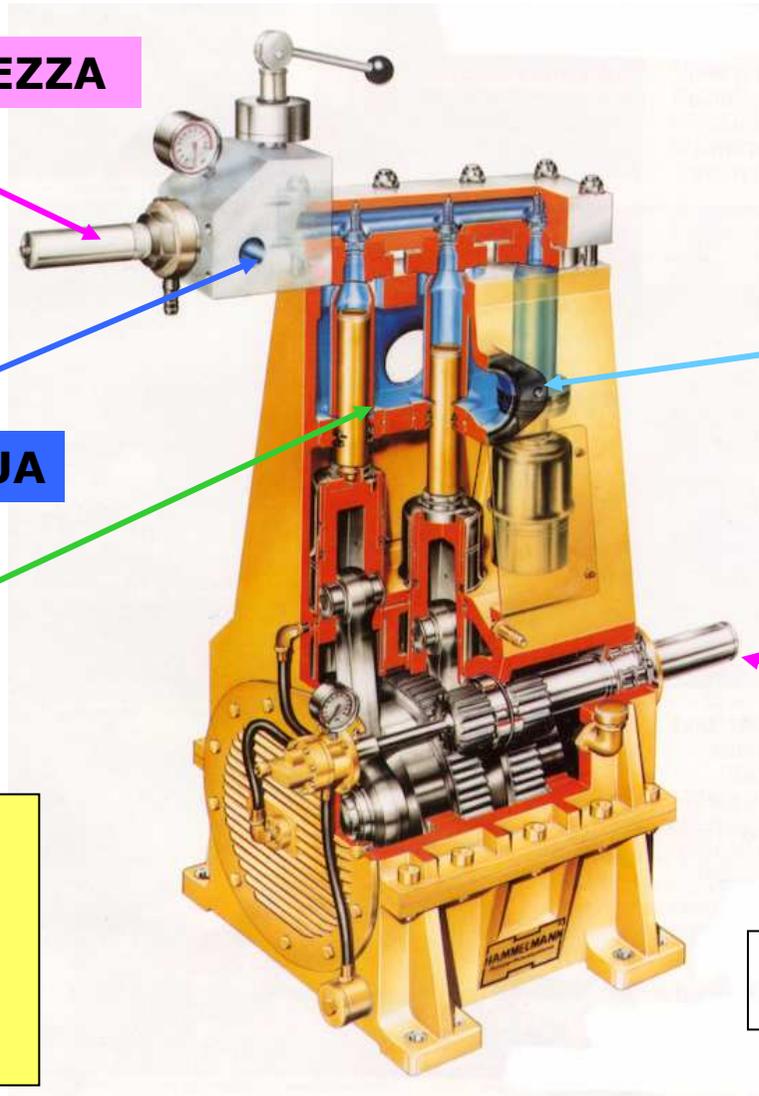
PISTONE

INGRESSO ACQUA

ALBERO MOTORE

PRESSIONE DELL'ACQUA:
fino a **250 MPa**
PORTATA D'ACQUA:
fino a **200 l/min**
POTENZA APPLICATA:
fino a **800 kW**

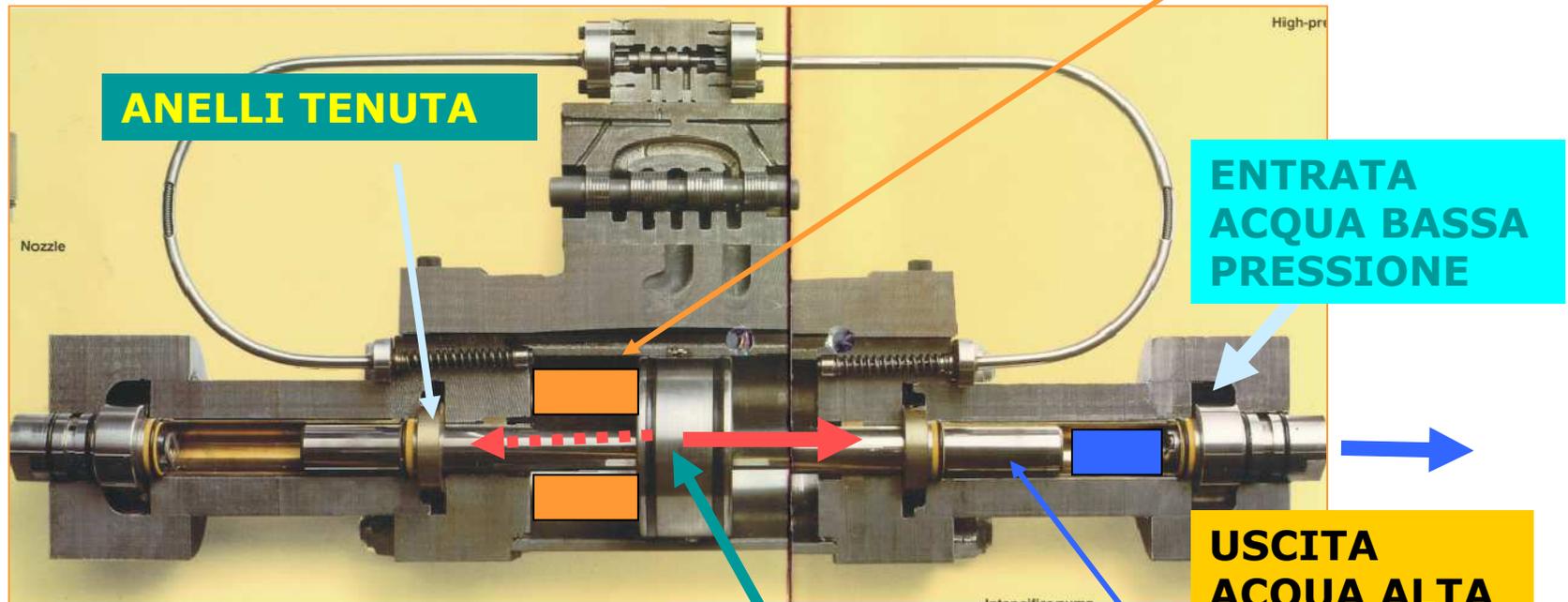
FABBRICANTE:
HAMMELMANN, GERMANIA



INTENSIFICATORE IDRAULICO A DOPPIO EFFETTO

MANUFACTURER:
Fa FLOW SYSTEM, INC. USA

OLIO PER LA SPINTA DEL PISTONE
(corsa avanti e indietro)



ANELLI TENUTA

ENTRATA
ACQUA BASSA
PRESSIONE

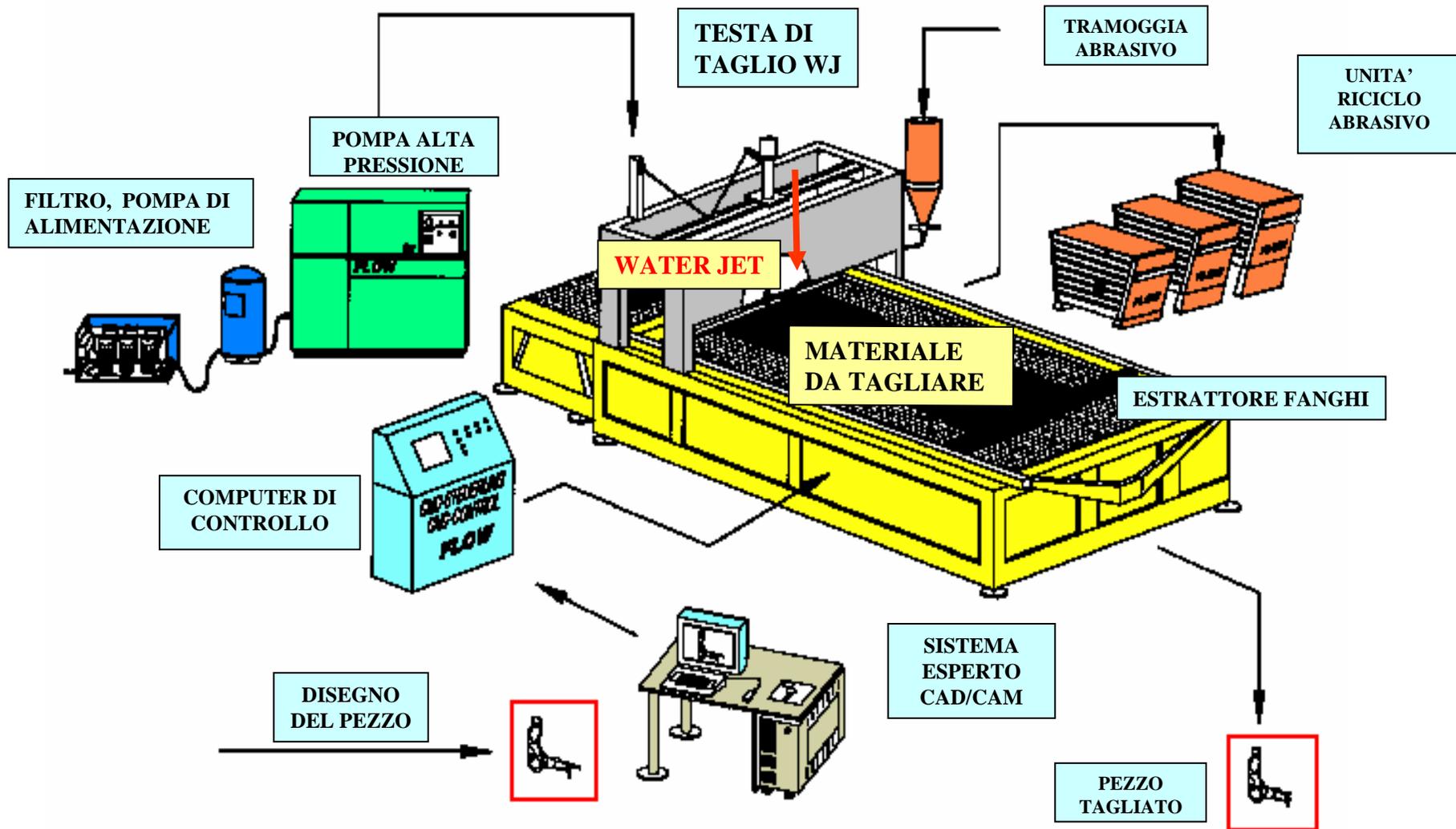
USCITA
ACQUA ALTA
PRESSIONE

PISTONE (lato olio)

PISTONE (lato acqua)

PRESSIONE DELL'ACQUA:
fino a **420 MPa**
Portata d'acqua:
3 l/min
POTENZA APPLICATA:
da **30 a 120 kW**
(da uno a 4 intensificatori in parallelo)

COMPONENTI PER APPLICAZIONI IN STABILIMENTO



WATER JET ROBOTIC TECHNOLOGY

SUGINO SYSTEM, JAPAN

**ROBOT ALL'INTERNO DI
CABINA CHIUSA**

SISTEMA A CONTROLLO NUMERICO

IL MASSIMO LIVELLO DI SICUREZZA PER L'OPERATORE





**COMPONENTI
PER
APPLICAZIONI
SUL CAMPO**

Tutti i componenti del sistema waterjet devono essere di alta qualità



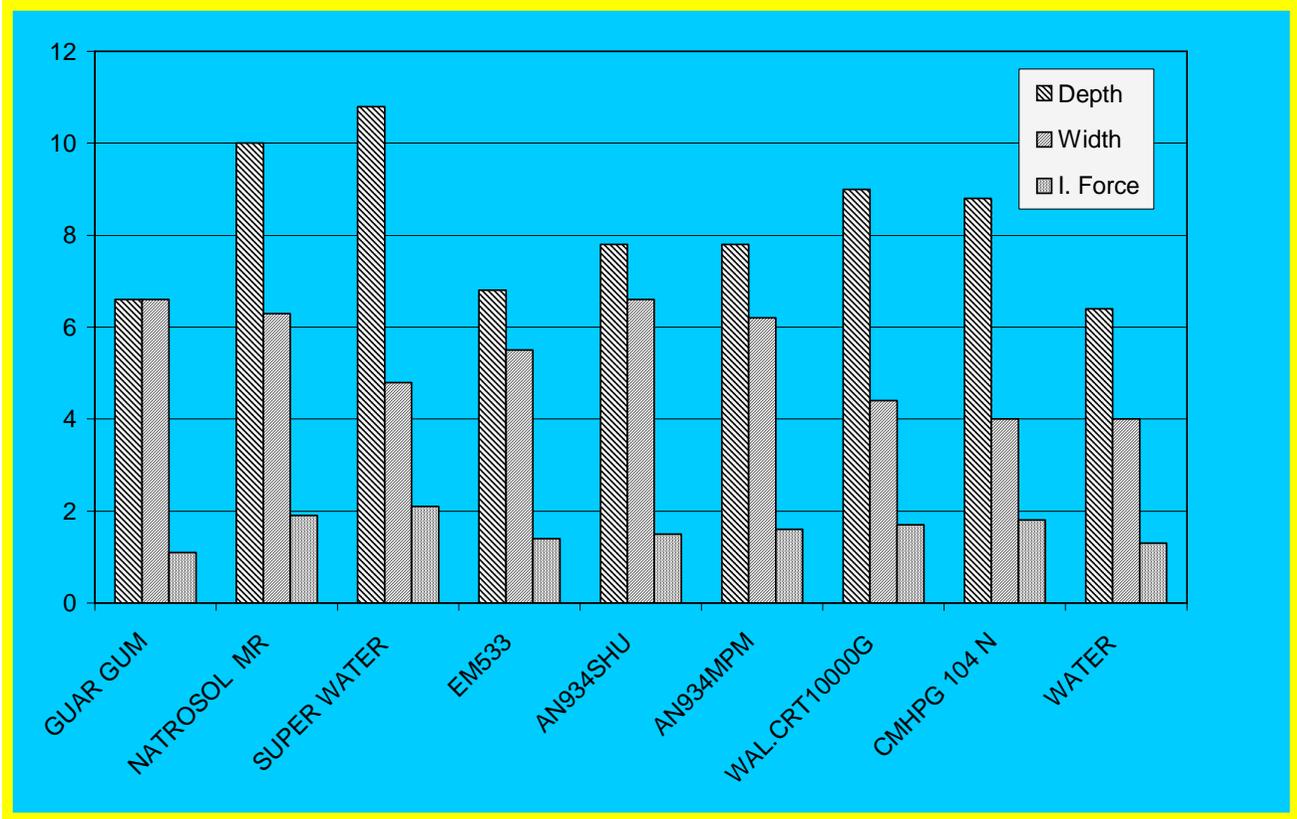
ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007



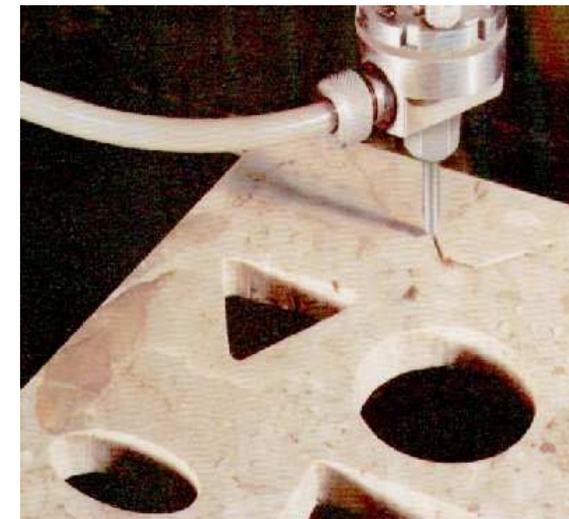
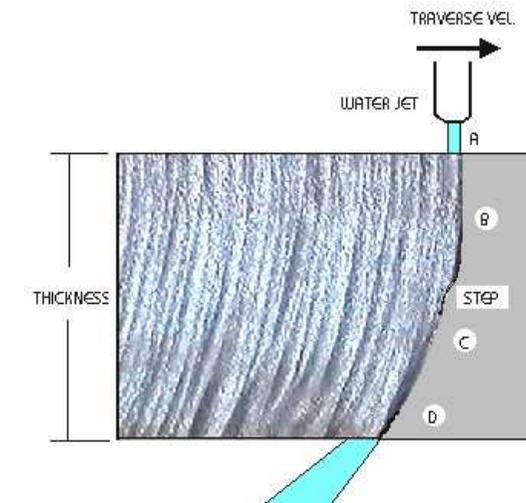


INFLUENZA DI ADDITIVI CHIMICI

Alcuni additivi chimici (polimeri solubili e lunga catena) migliorano sensibilmente le caratteristiche fluidodinamiche del getto (maggiore coerenza).

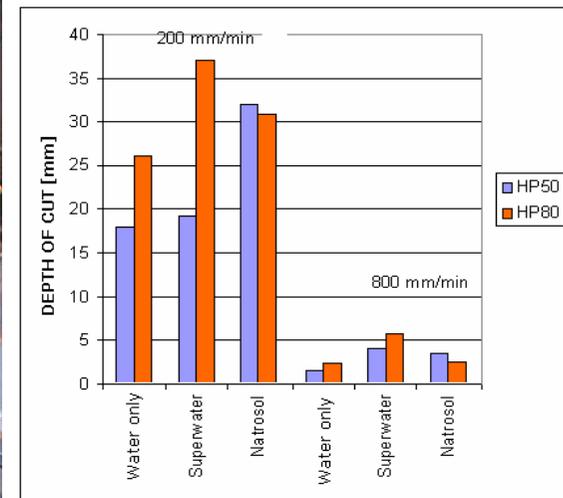


SISTEMI DI GENERAZIONE DEI GETTI ABRASIVI



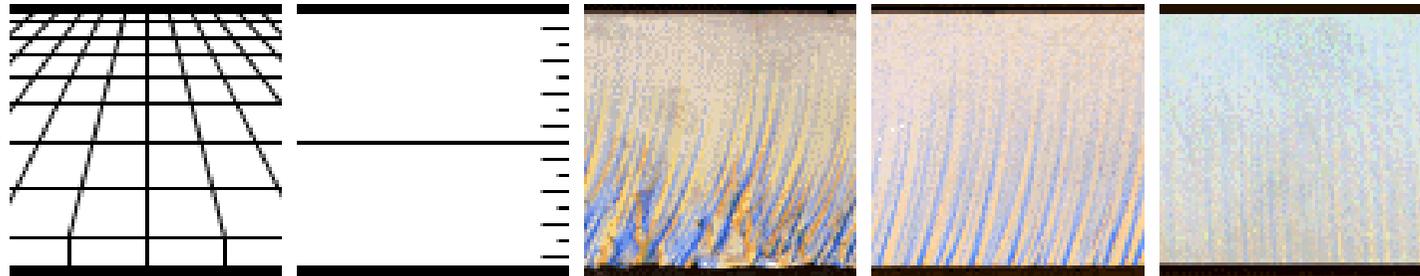
AWJ Getto con abrasivo iniettato

SISTEMI DI GENERAZIONE DEI GETTI ABRASIVI



ASJ Getto con abrasivo premiscelato DiaJet

VELOCITÀ DI TAGLIO PER DIVERSI MATERIALI



| MATERIALE | VELOCITA' UGELLO [mm/s] | TAGLIO PASSANTE [mm] | MEDIA QUALITA' [mm] | ALTA QUALITA' [mm] |
|-----------|-------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| Rame | 12,7 | 475 | 193 | 122 |
| | 38,1 | 132 | 43 | 25 |
| | 76,2 | 58 | 18 | 10 |
| Acc. Inox | 12,7 | 330 | 132 | 84 |
| | 38,1 | 91 | 30 | 18 |
| | 76,2 | 41 | 13 | 8 |
| Alluminio | 12,7 | 1021 | 414 | 259 |
| | 38,1 | 284 | 97 | 58 |
| | 76,2 | 127 | 38 | 23 |
| Titanio | 12,7 | 511 | 208 | 130 |
| | 38,1 | 142 | 48 | 28 |
| | 76,2 | 64 | 20 | 13 |
| Granito | 12,7 | 912 | 371 | 231 |
| | 38,1 | 254 | 86 | 51 |
| | 76,2 | 14 | 36 | 20 |

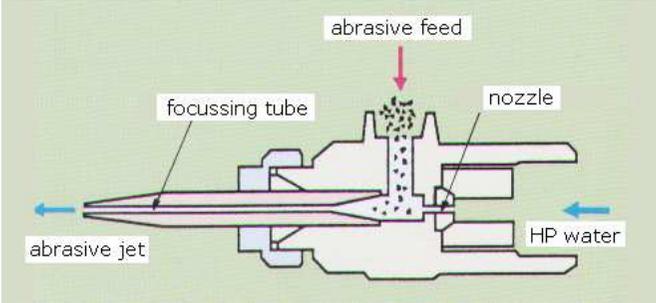
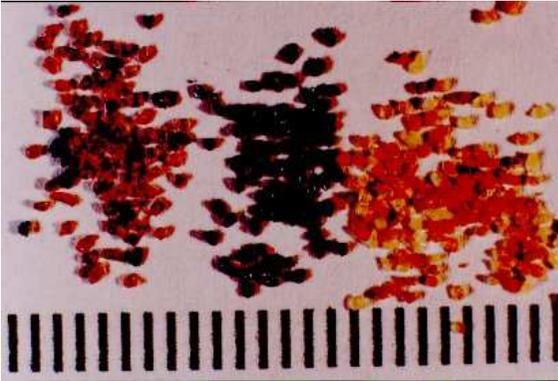
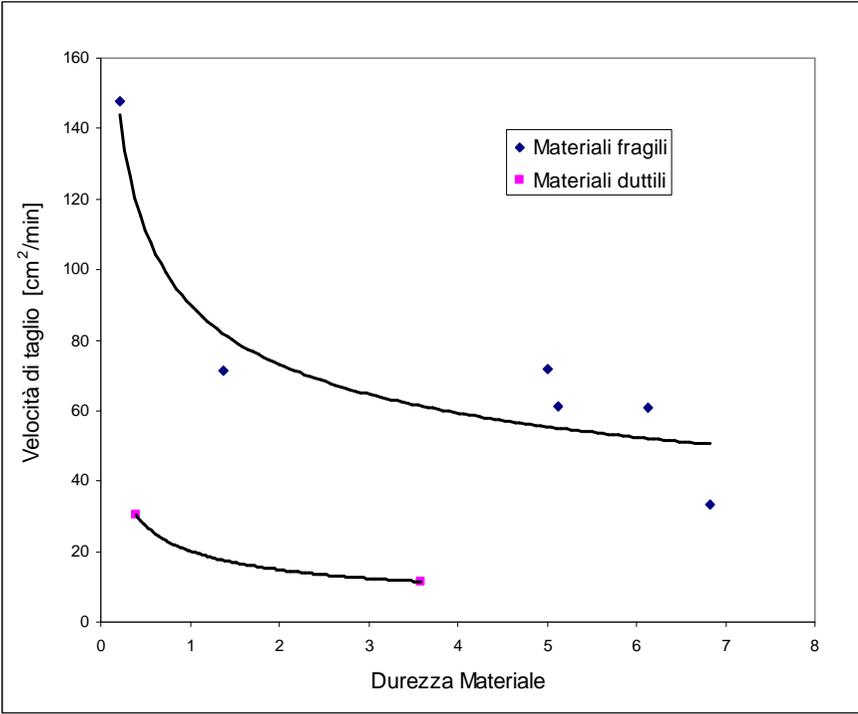
AWJ



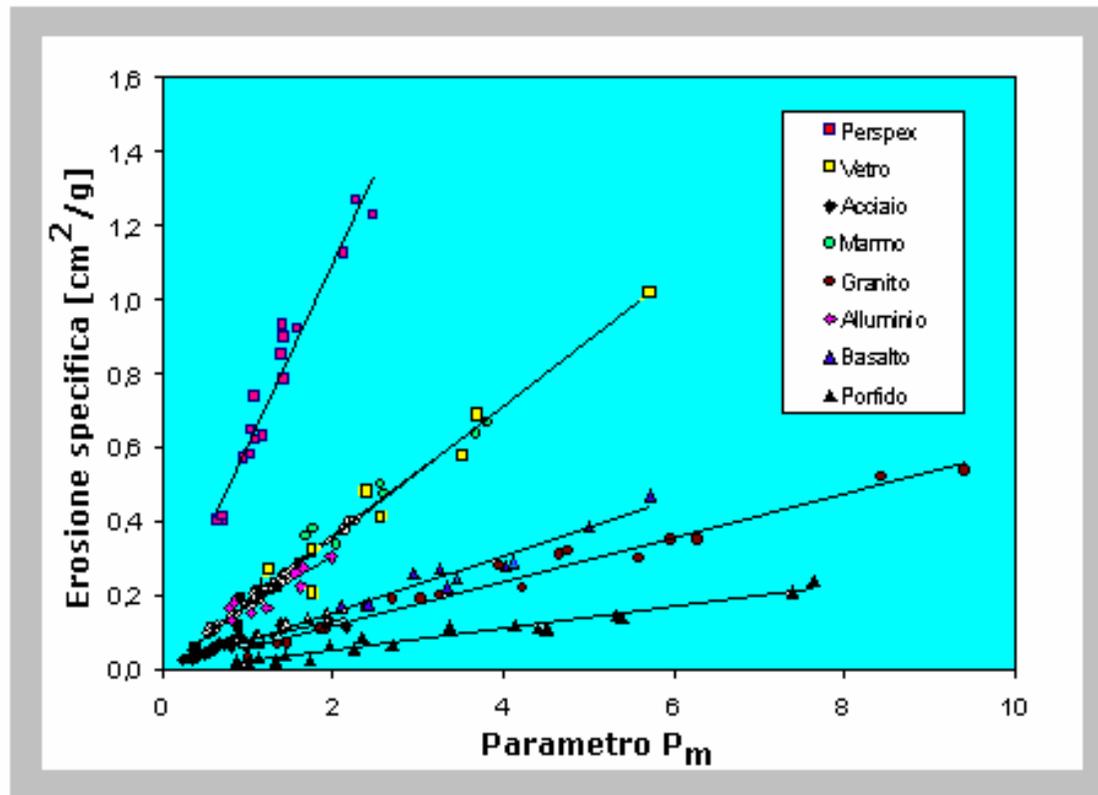
ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007



ABRASIVE WATERJET



CARATTERISTICHE DELL'ABRASIVO



H_m Durezza Knoop

S Fattore di forma

ρ Massa volumica

D Dimensione particelle

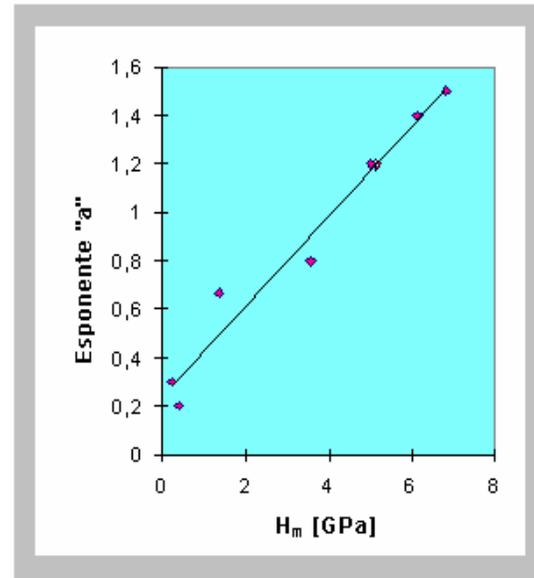
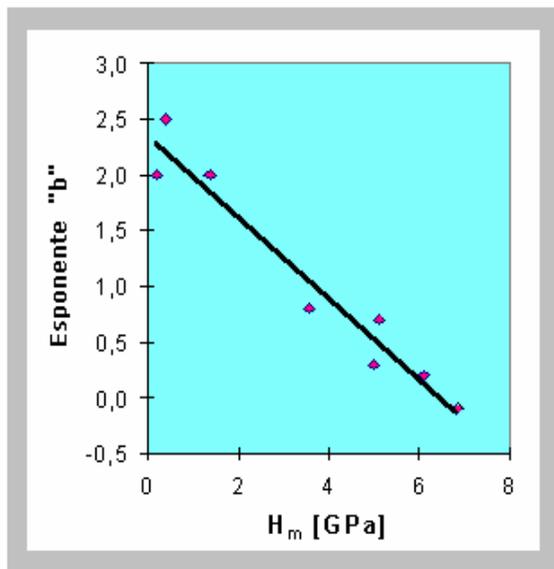
P Proporzione volumetrica dell'abrasivo nel getto [0/00]

$$E_s = K \cdot P_m$$

$$P_m = (H_m)^a \cdot (S)^b \cdot (\rho)^c \cdot (D)^d \cdot (P)^e$$

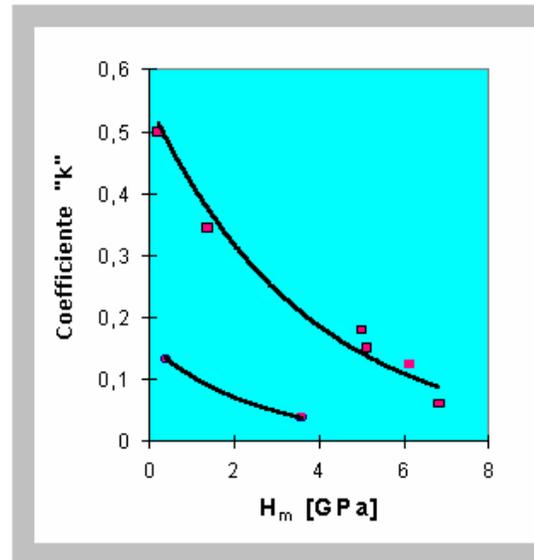
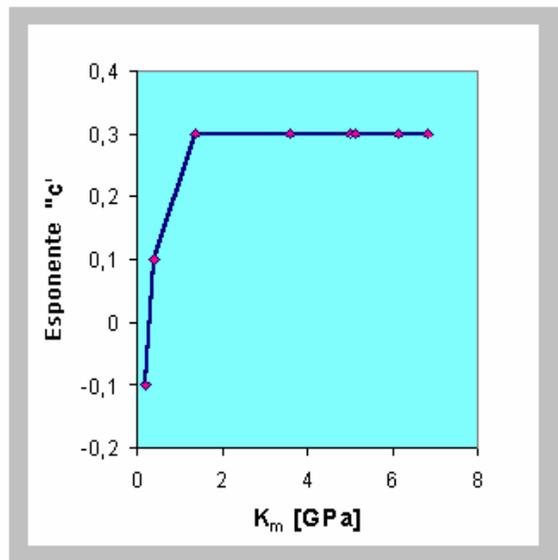
Gli esponenti "c" ed "e" si mantengono costanti per tutti i materiali mentre gli altri variano in funzione delle caratteristiche del materiale da tagliare e in particolare della sua durezza.

$$P_m = (H_m)^a \cdot (S)^b \cdot (\rho)^c \cdot (D)^d \cdot (P)^e$$



"c" = -0,4

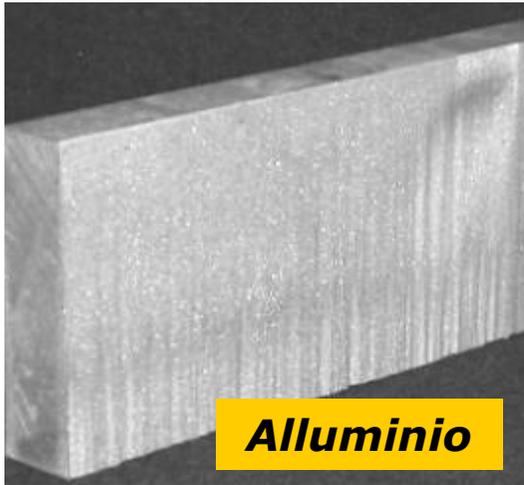
"e" = -0,5



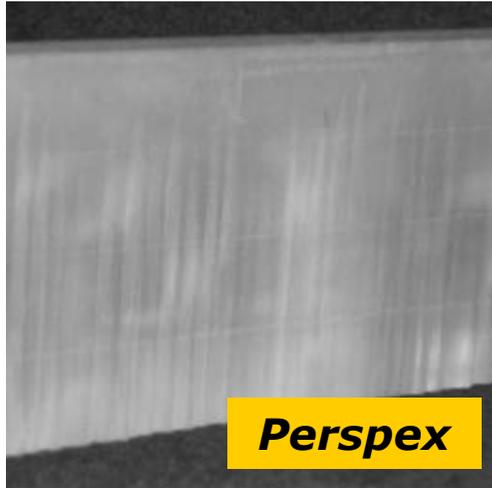
ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007



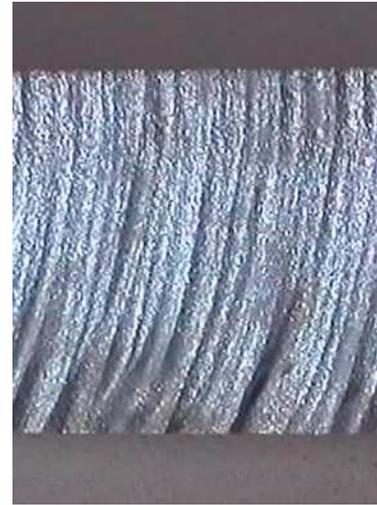
TAGLIO PER PASSATE MULTIPLE



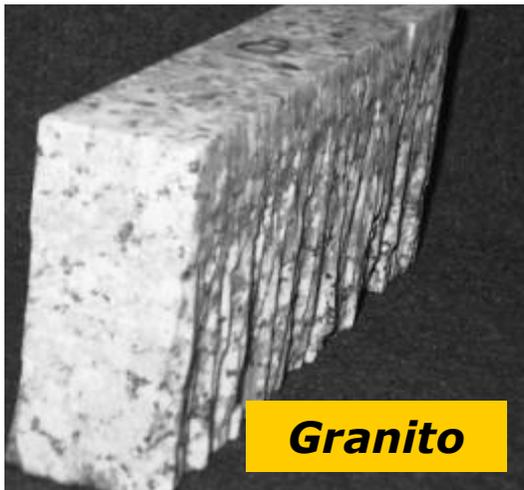
Alluminio



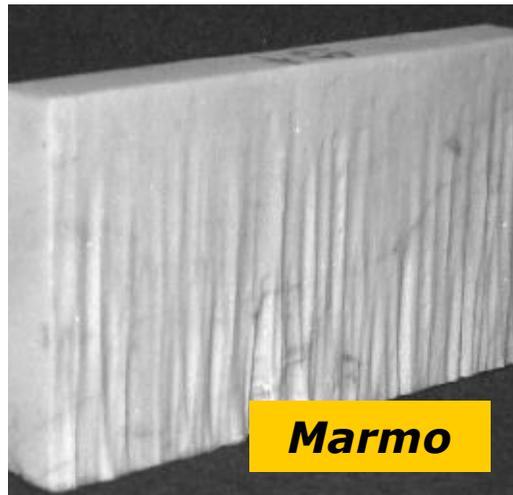
Perspex



Taglio con passata unica

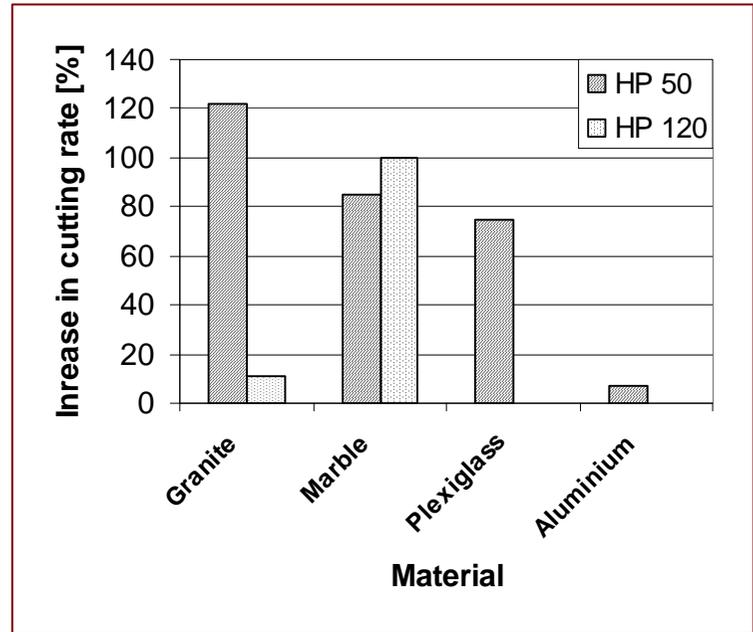


Granito

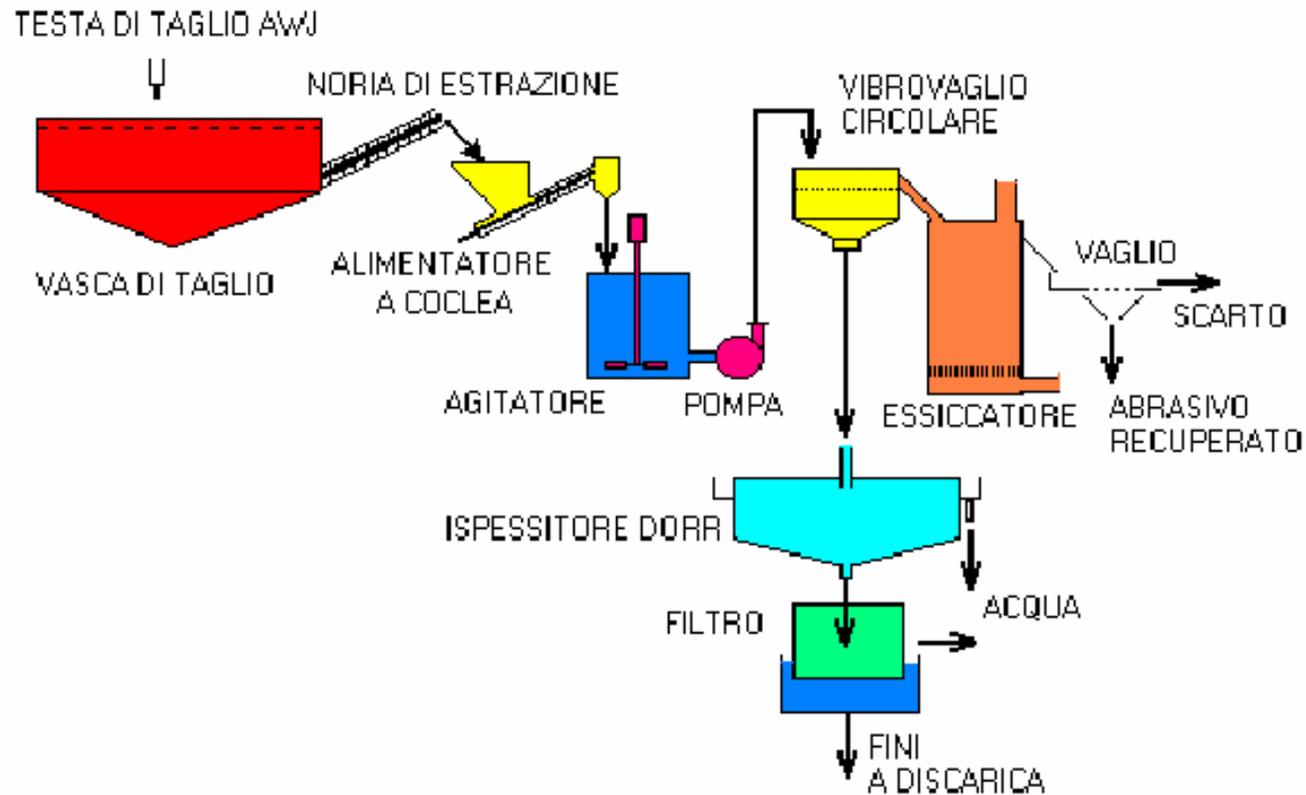


Marmo

Taglio con passate multiple

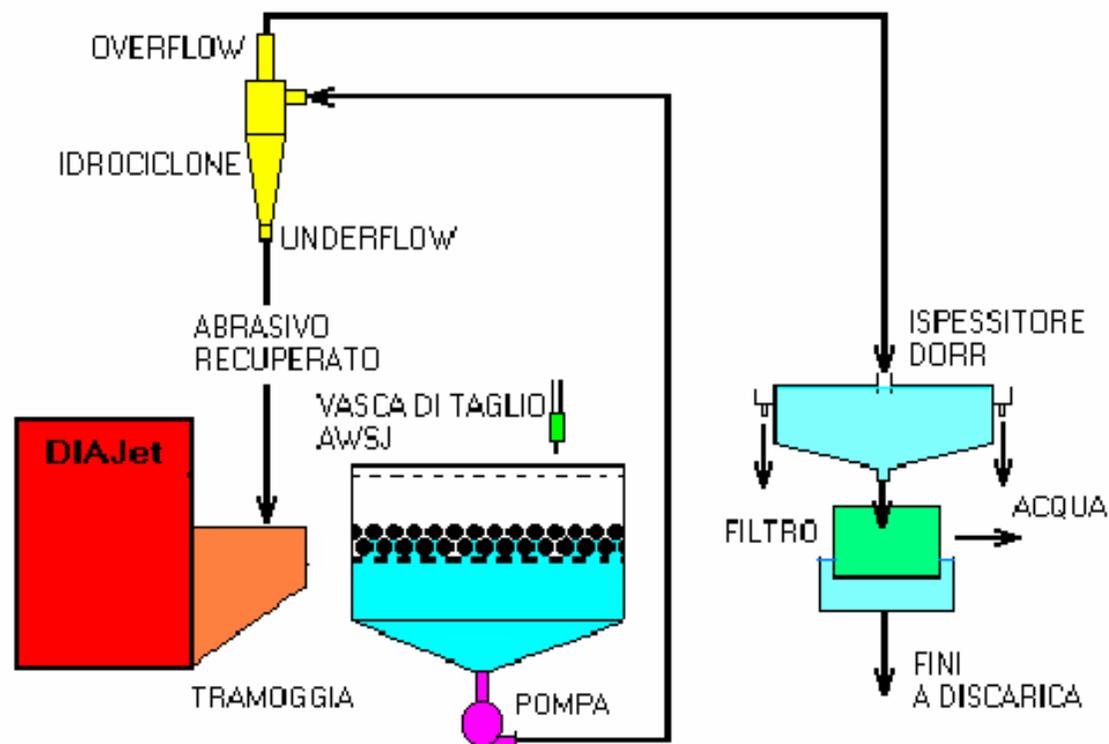


RECUPERO E RICICLO DELL'ABRASIVO



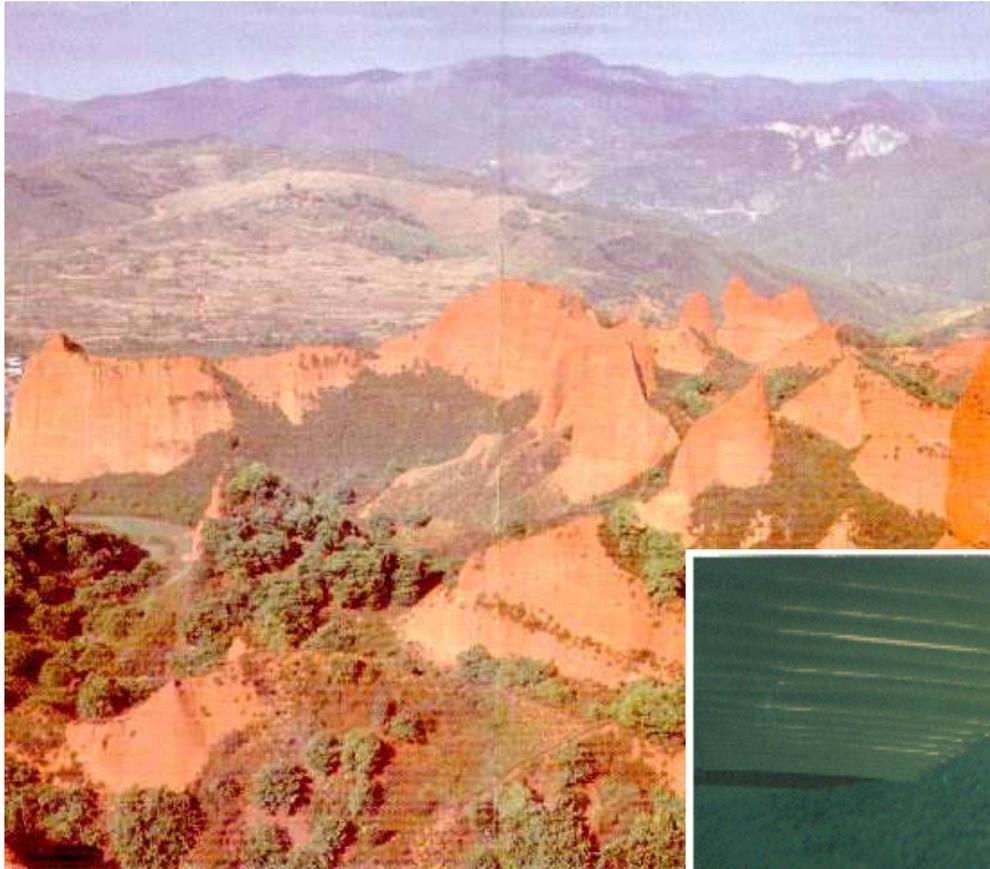
Flowsheet del trattamento della torbida sistemi AWJ

RECUPERO E RICICLO DELL'ABRASIVO



Flowsheet del trattamento della torbida sistemi AWSJ

APPLICAZIONI IN CAMPO MINERARIO



I Romani coltivavano i giacimenti auriferi della Galizia (Spagna) per mezzo di flussi d'acqua canalizzati da bacini di raccolta in cima alle colline.

L'energia idraulica provocava la disgregazione del materiale e consentiva la separazione dell'oro per gravità.

Ruina montium (Spagna)



APPLICAZIONI IN CAMPO MINERARIO



*Taglio
sparkless di
metalli
nell'industria
petrolifera*



**ABRASIVE
WATERJET**



APPLICAZIONI IN CAMPO MINERARIO

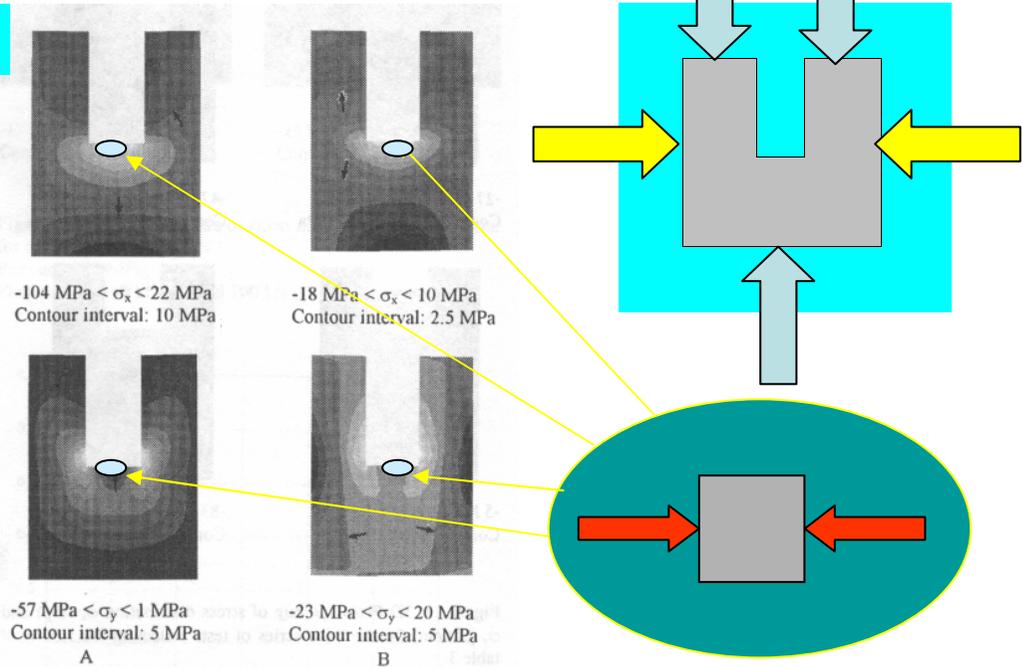


Taglio profondo delle rocce nelle cave di lapidei ornamentali

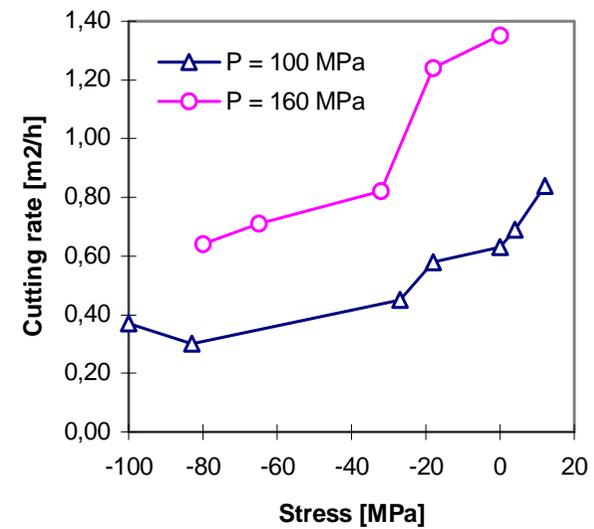
TAGLIO PROFONDO DEL GRANITO



**Laboratorio Waterjet DIGITA
Università di Cagliari**



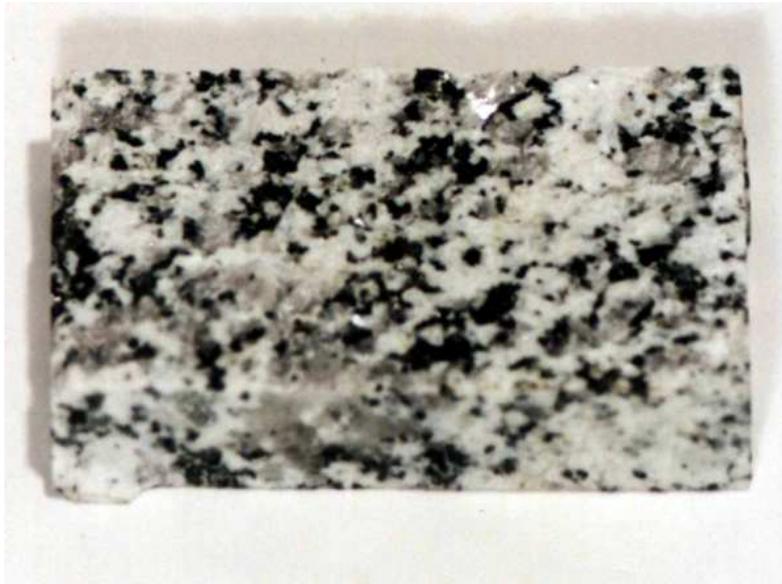
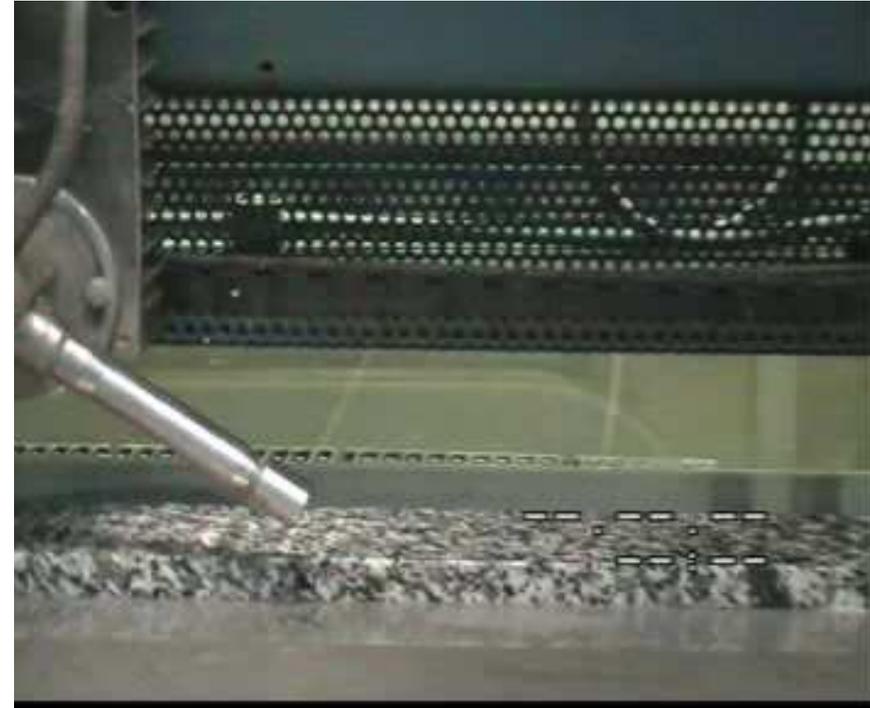
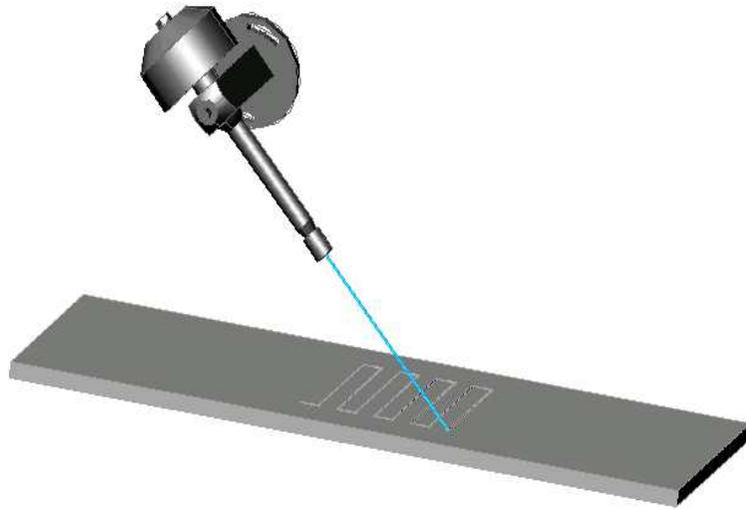
Simulazione dello stato di stress



ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007



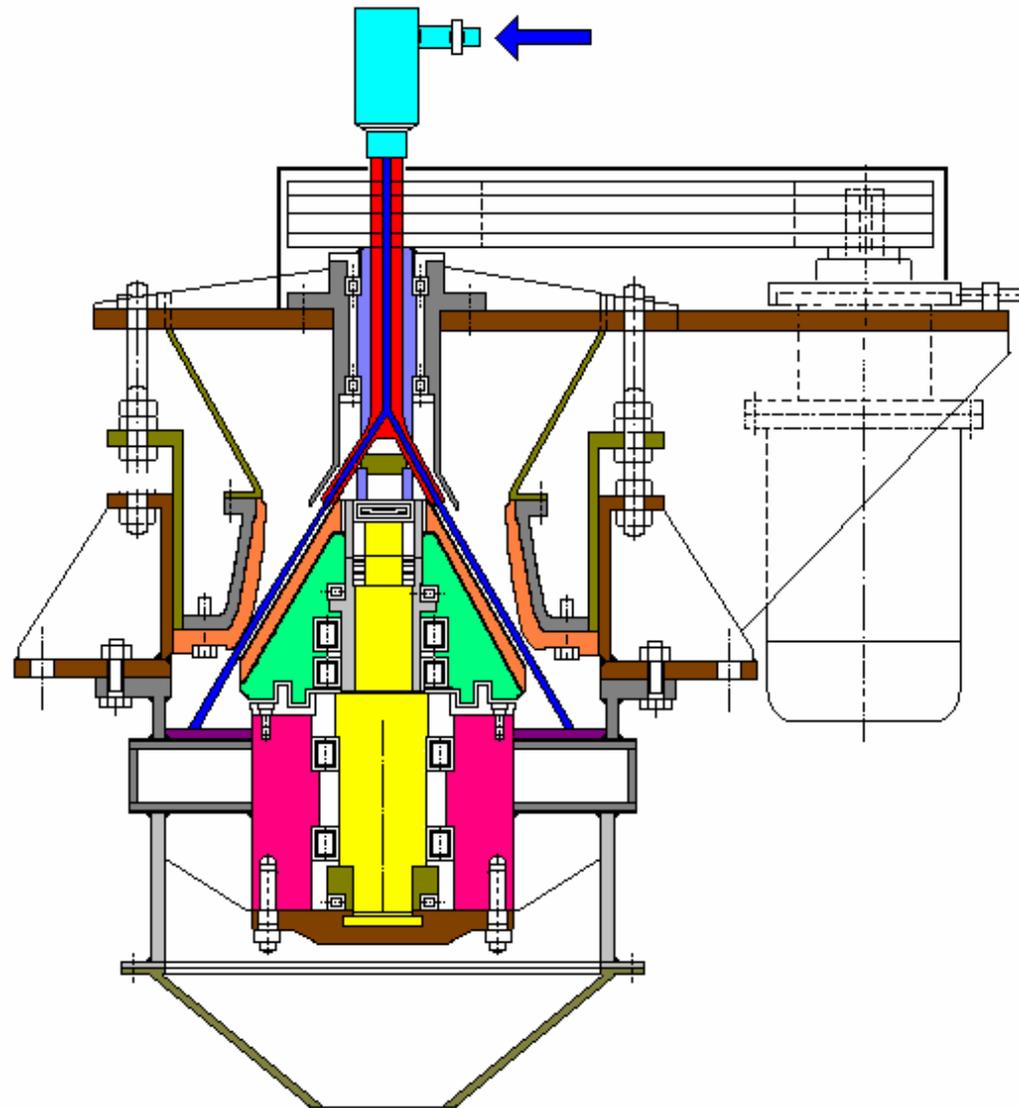
FINITURA SUPERFICIALE CON GETTO D'ACQUA



Produttività: 6 m²/h (con un getto singolo)

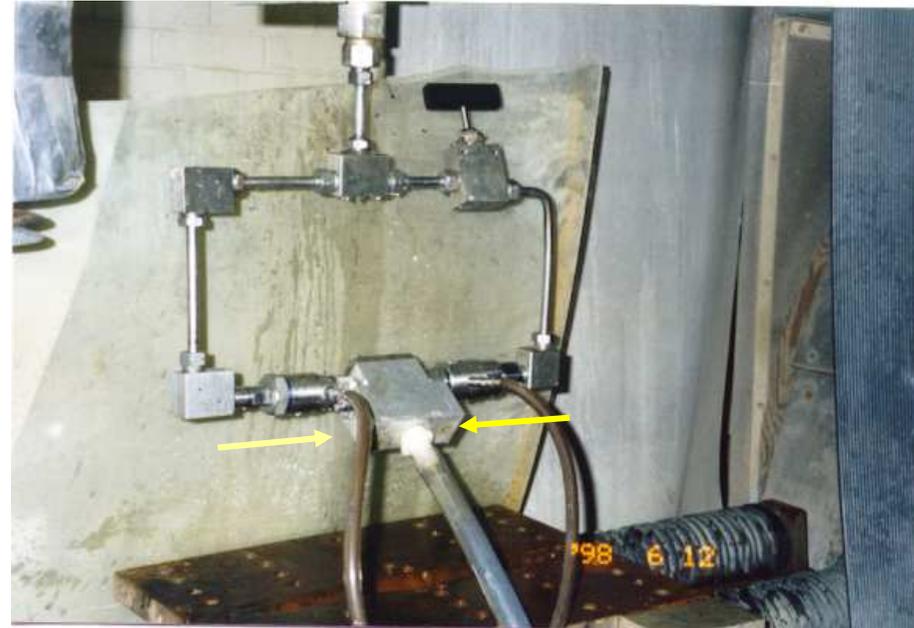
Consumo energetico: 2 kWh/m²

APPLICAZIONI IN CAMPO MINERALURGICO



Comminuzione dei minerali

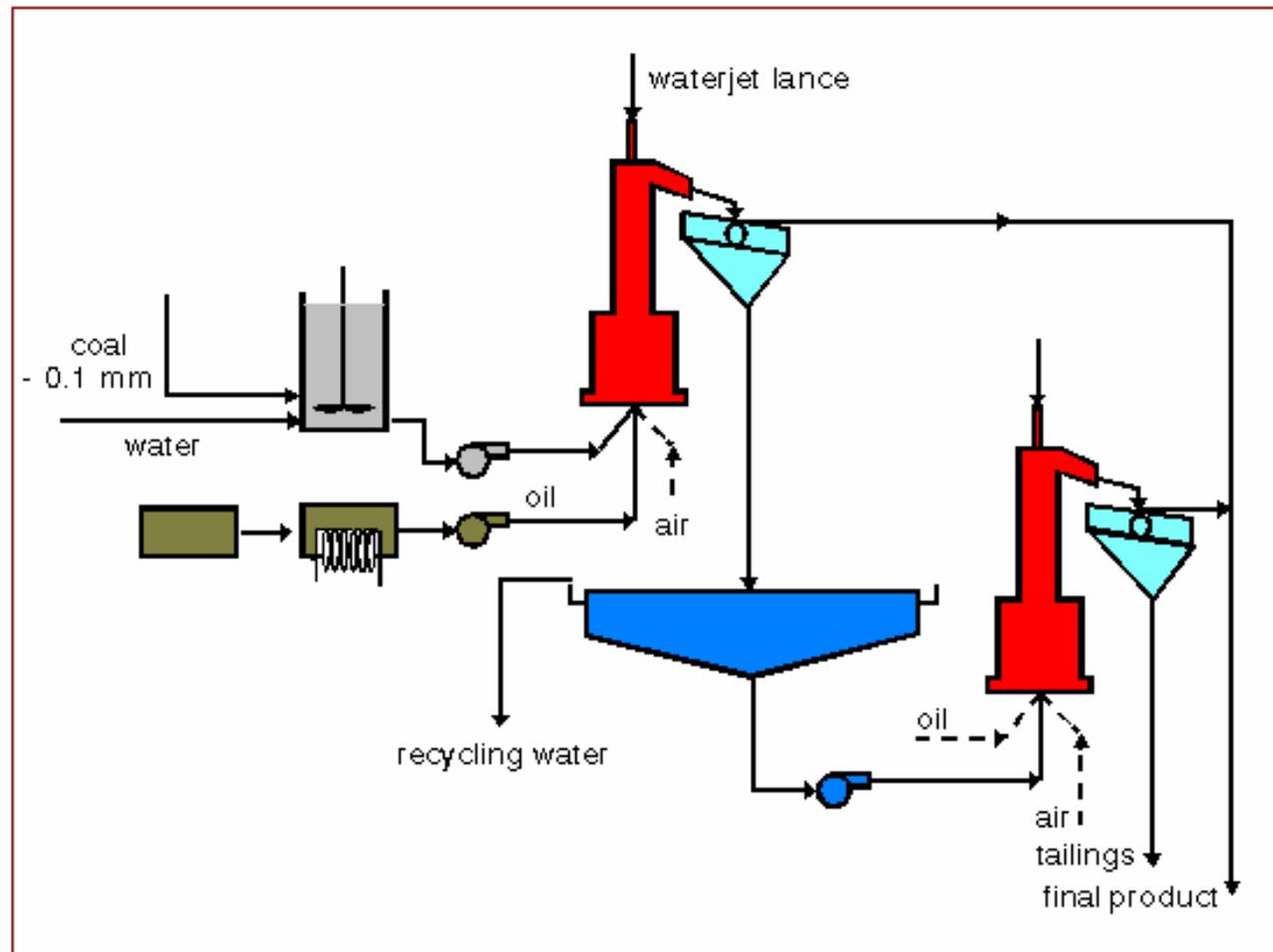
APPLICAZIONI IN CAMPO MINERALURGICO



Micronizzazione dei minerali con mulino a getti d'acqua contrapposti

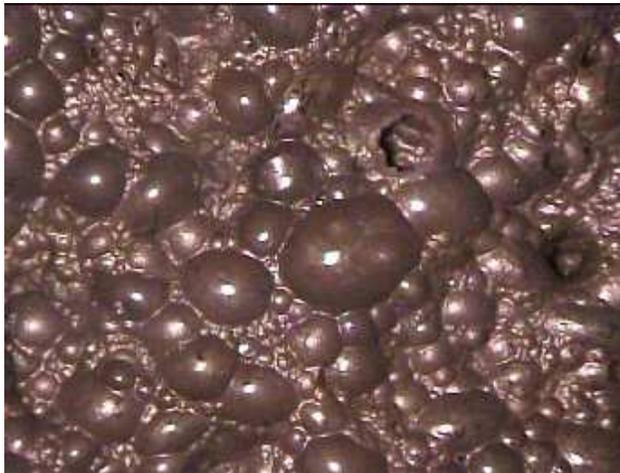
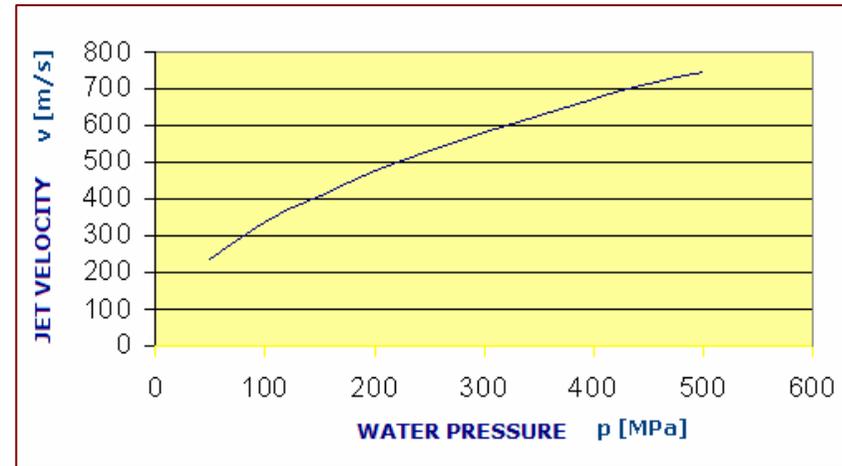
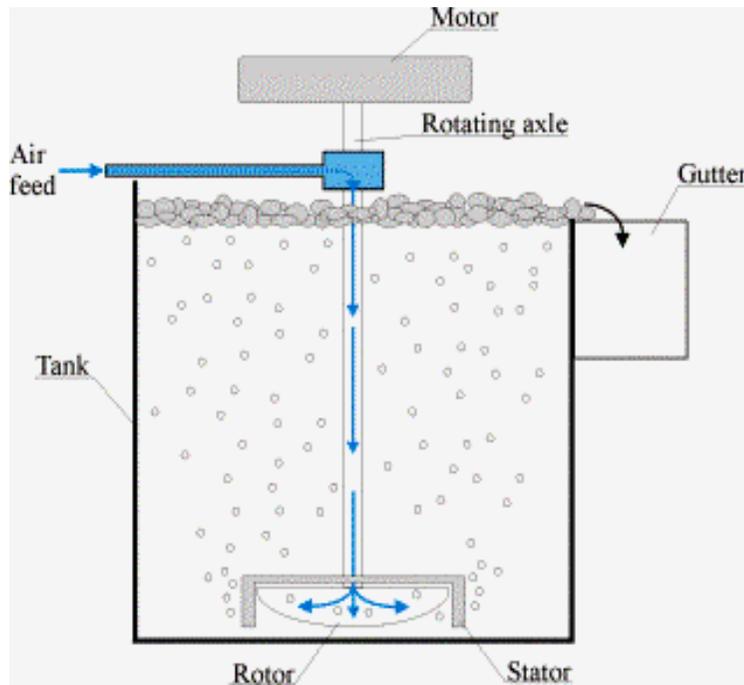


APPLICAZIONI IN CAMPO MINERALURGICO

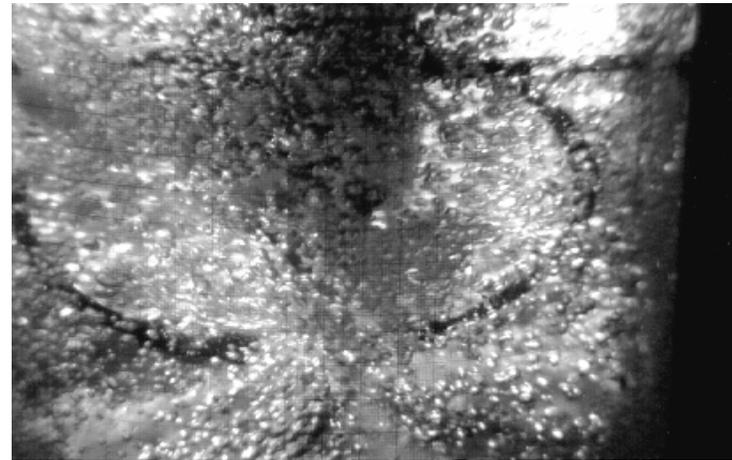


Agglomerazione in olio del carbone

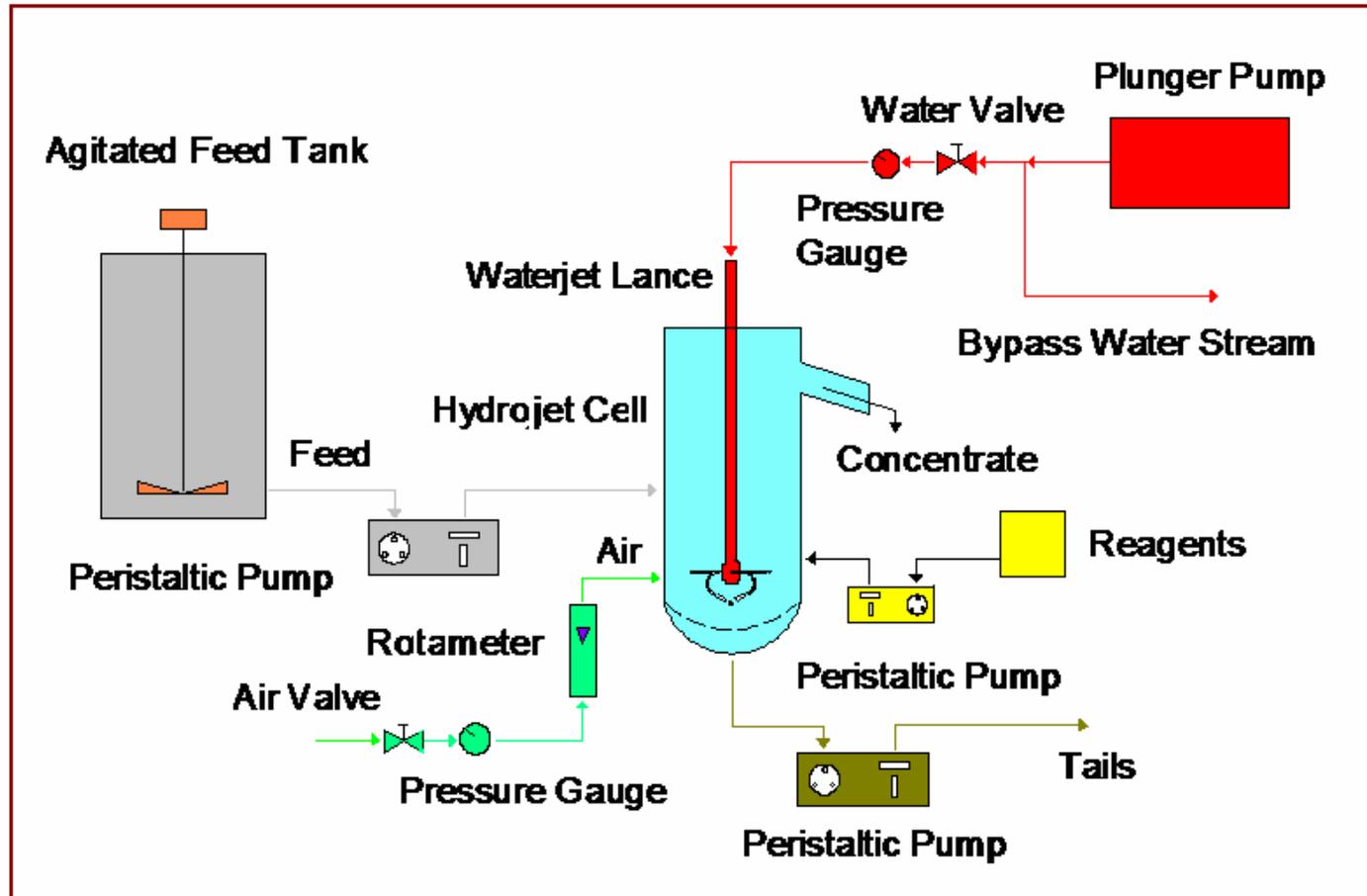
APPLICAZIONI IN CAMPO MINERALURGICO



Flottazione

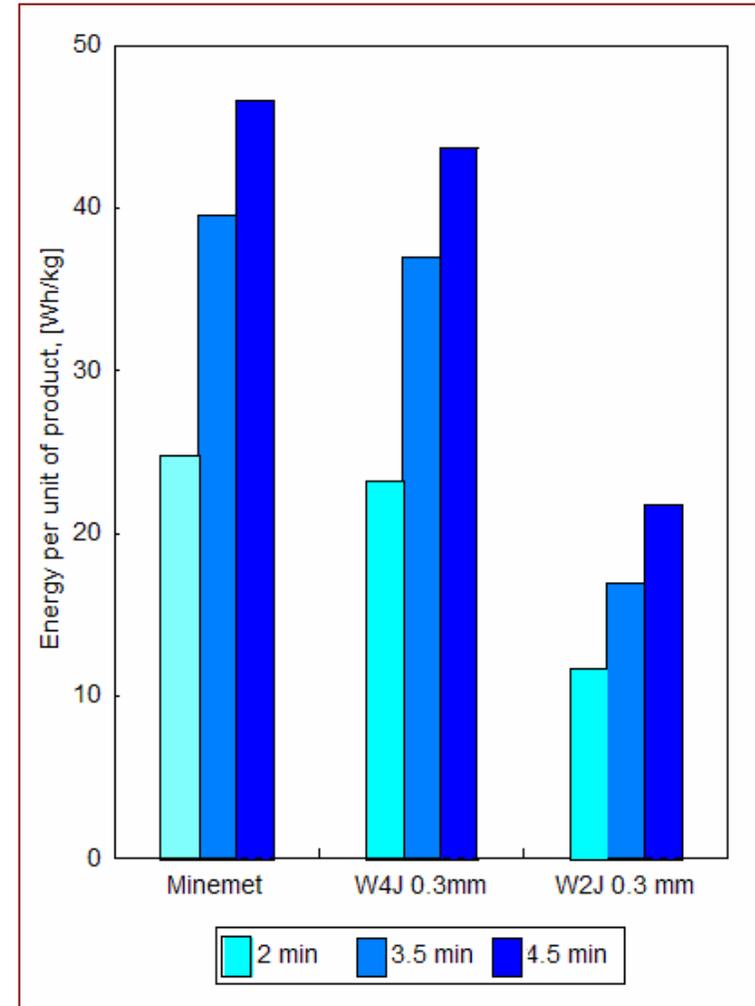
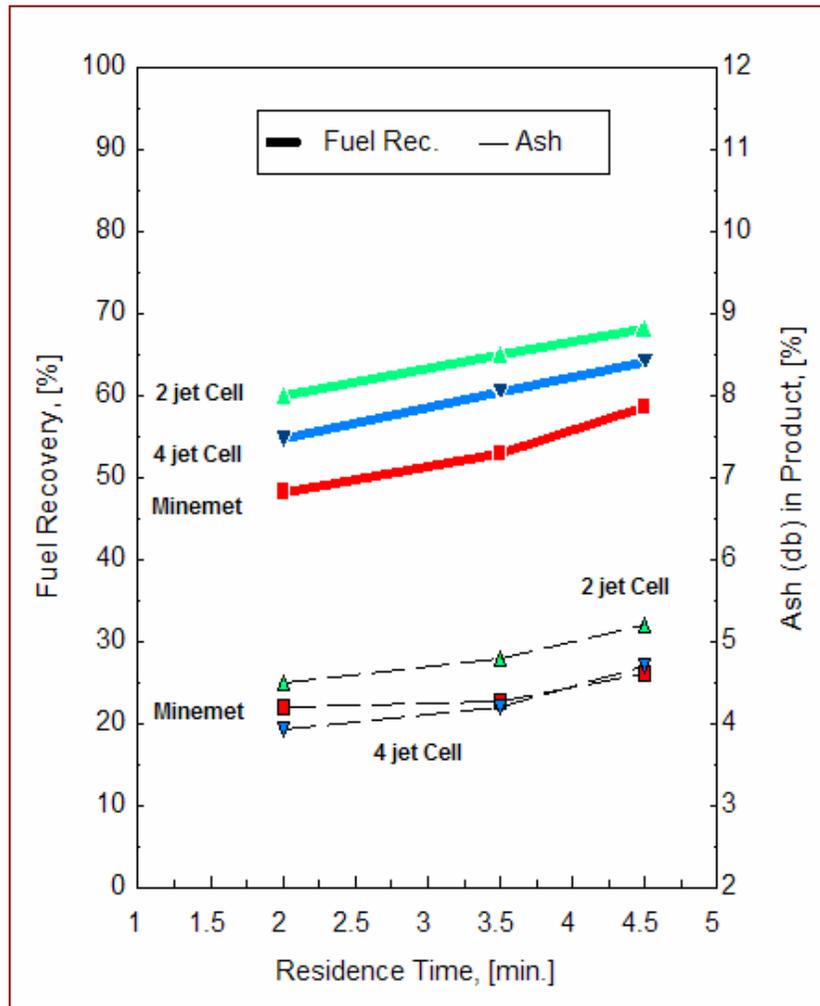


APPLICAZIONI IN CAMPO MINERALURGICO



Flowsheet of laboratory tests with the Hydrojet cell

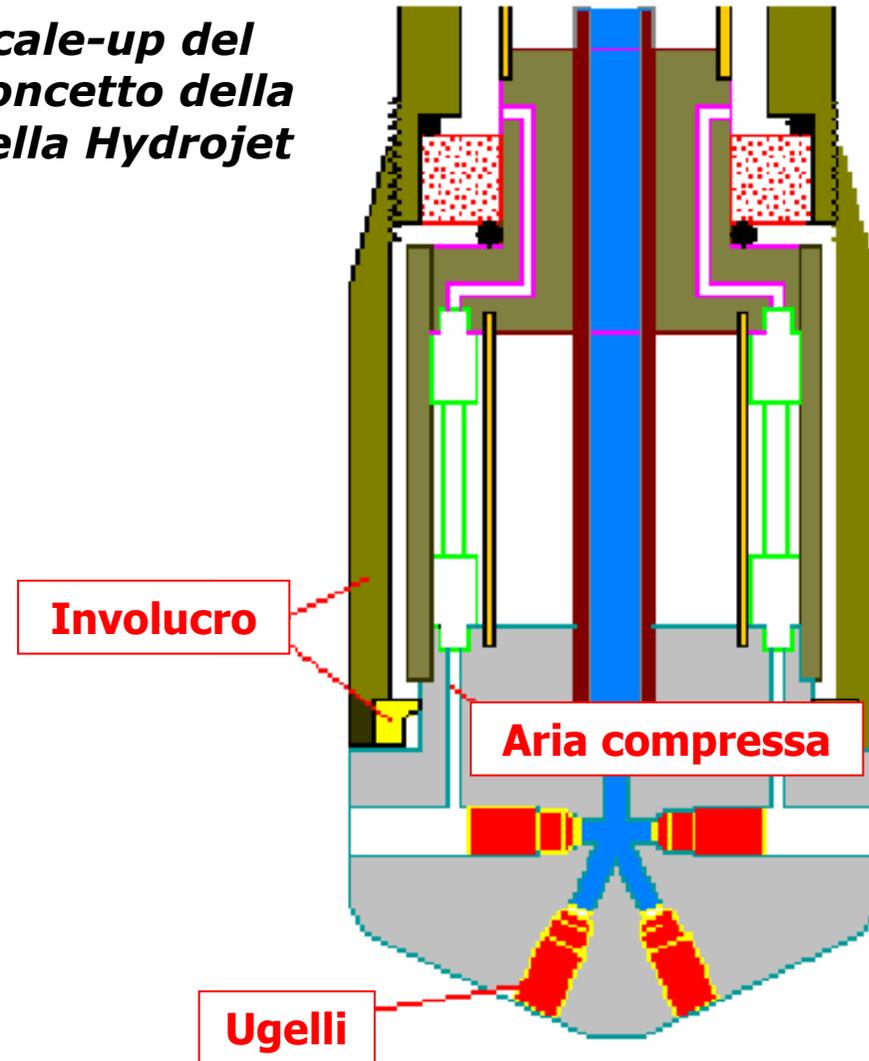
APPLICAZIONI IN CAMPO MINERALURGICO



APPLICAZIONI IN CAMPO MINERALURGICO



Scale-up del concetto della cella Hydrojet



APPLICAZIONI NEL CAMPO DELL'INGEGNERIA CIVILE



Prove di taglio lineare



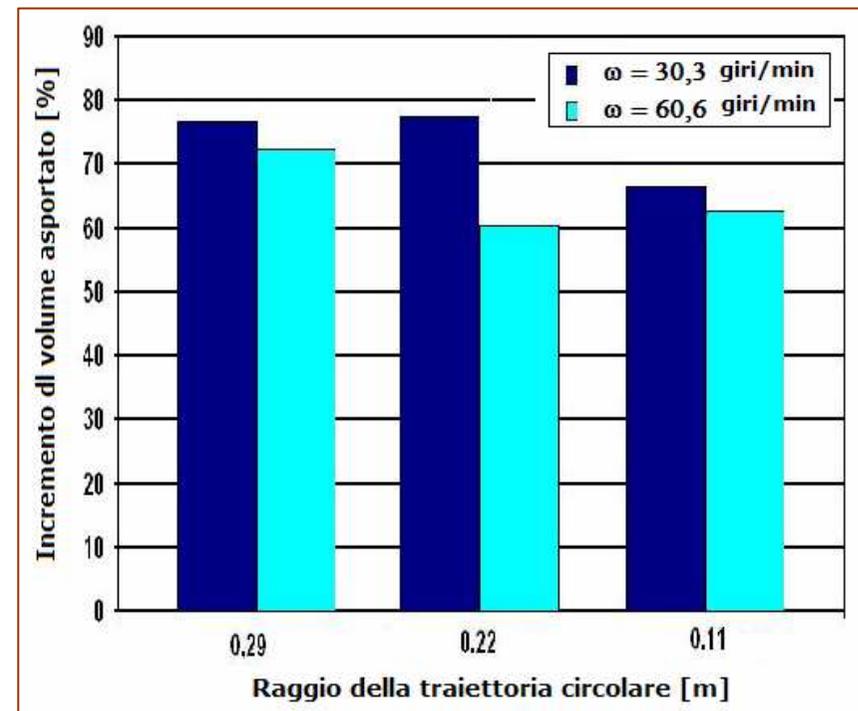
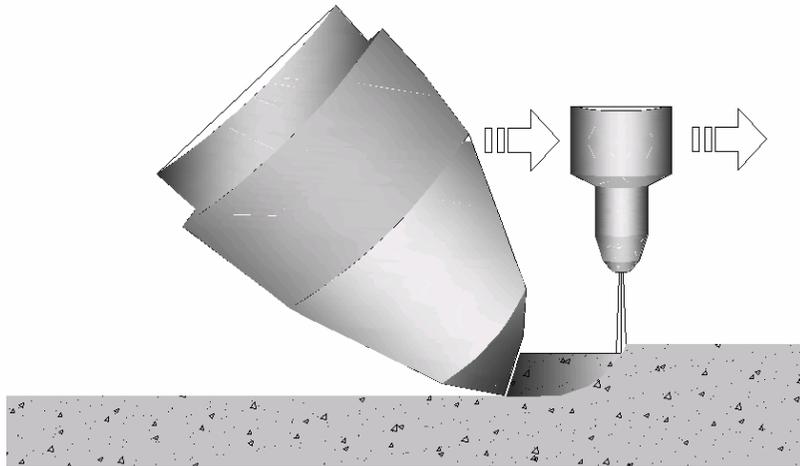
Scavo meccanizzato delle rocce

APPLICAZIONI NEL CAMPO DELL'INGEGNERIA CIVILE



Stazione sperimentale per prove di taglio a traiettoria circolare

APPLICAZIONI NEL CAMPO DELL'INGEGNERIA CIVILE

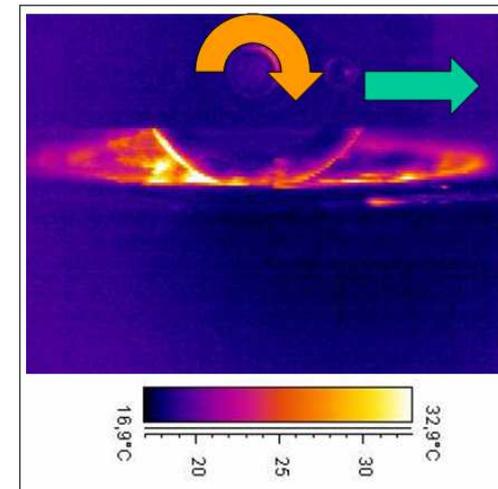
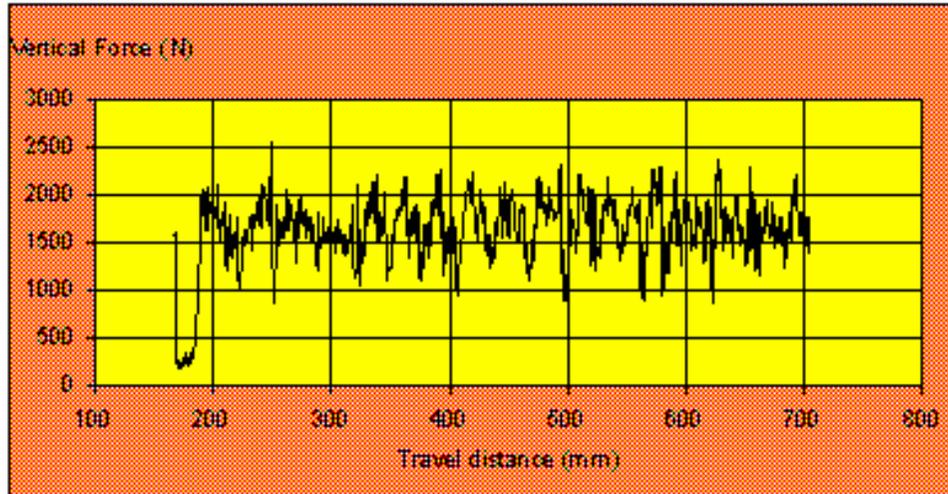
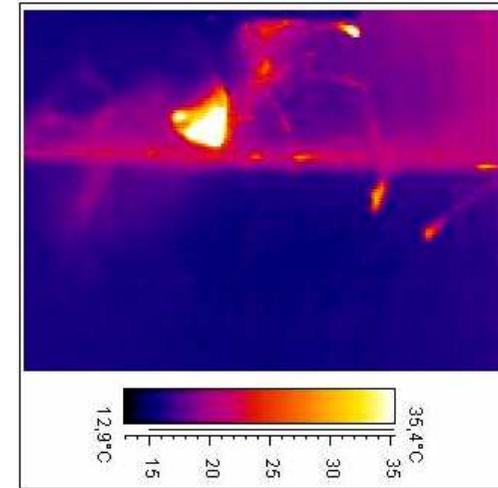
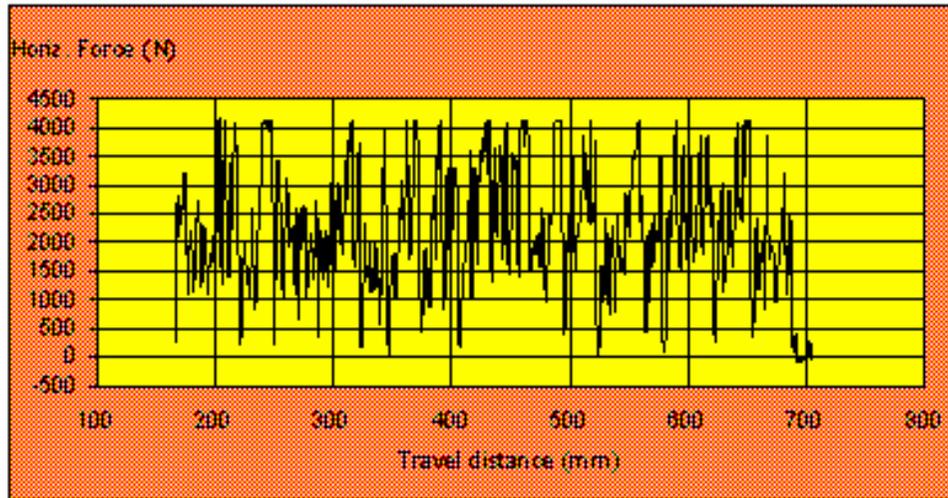


Risultati ottenuti

ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007



APPLICAZIONI NEL CAMPO DELL'INGEGNERIA CIVILE



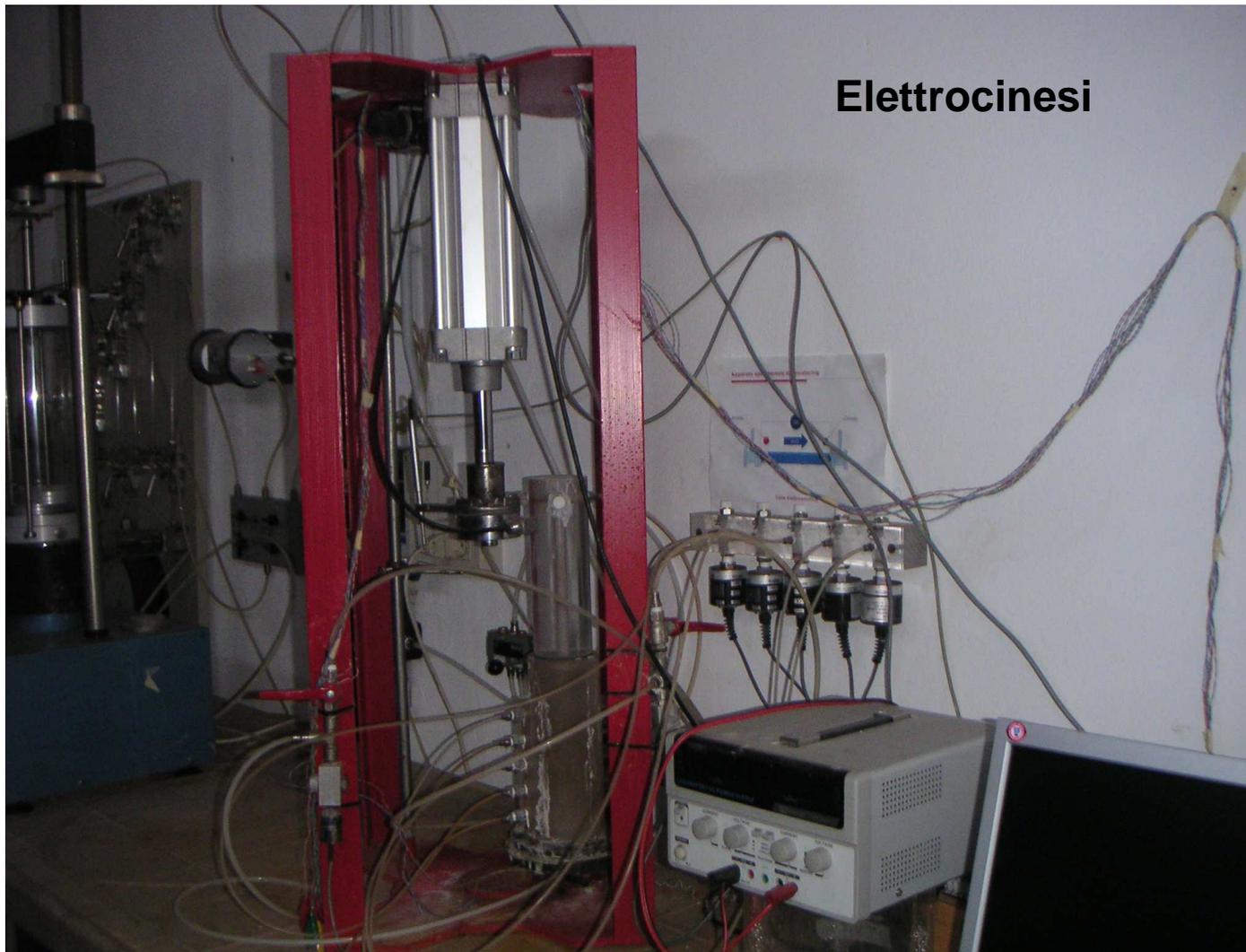
Risultati ottenuti



ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007



APPLICAZIONI SPECIALI DELLA TECNOLOGIA WATERJET



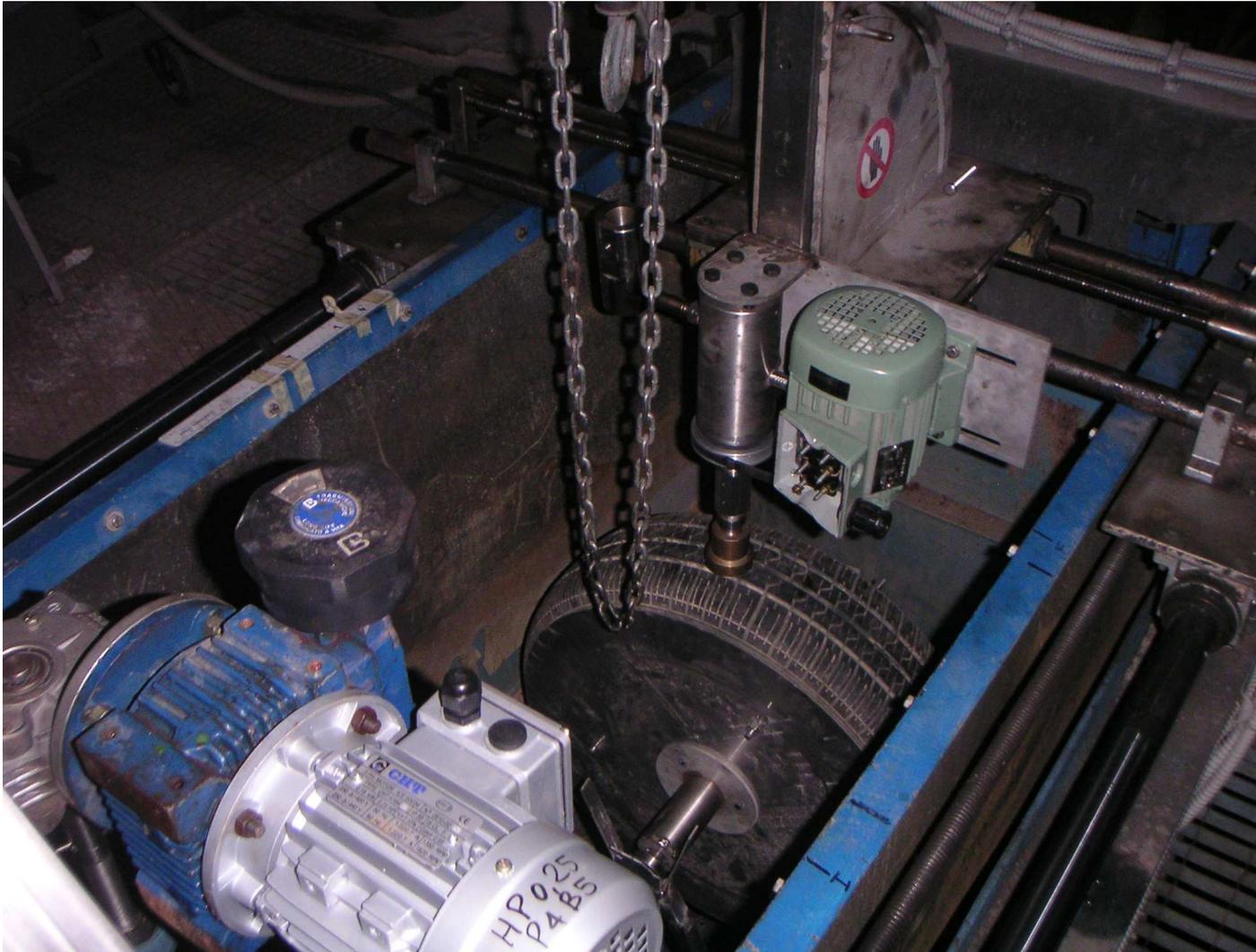
Preparazione del terreno per interventi di bonifica



ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007



APPLICAZIONI SPECIALI DELLA TECNOLOGIA WATERJET



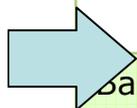
Distruzione degli pneumatici logorati con recupero della gomma



ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007



| TECNOLOGIA | MEZZO | CONTAMINANTE | DESCRIZIONE | TRATTAMENTO |
|--|--|--|--|---|
| Vetrificazione per fusione ad arco | Suolo | Metalli tossici Radionuclidi | Vetrificazione | Solidificazione Stabilizzazione |
| Bio-immobilizzazione | Acque superficiali e sotterranee | Metalli tossici | Uso di batteri per trasformare gli ioni metallici in elementi meno tossici | Solidificazione Stabilizzazione |
| Distruzione biologica di rifiuti | Supernatanti Flussi acquosi | Metalli tossici | Bioassorbimento | Bioreattori |
| Migrazione in campo elettrico | Suolo | Metalli pesanti | Gli ioni del contaminante sono concentrati nei rispettivi elettrodi | Separazione elettrocinetica |
| Incapsulamento di rifiuti pericolosi | Rifiuti solidi o liquidi, fanghi | Metalli, Sostanze inorganiche | Incapsulamento dei rifiuti | Isolamento |
| Risanamento in situ delle acque con colloidali | Acque sotterranee | Metalli pesanti adsorbiti su argille e silice | Immobilizzazione dei contaminanti con colloidali | Solidificazione Stabilizzazione |
| Mitigazione con barriere e coperture | Suoli aridi | Metalli solubili | Contenimento Trattamento | Trattamento con barriere passive/reattive |
| Incapsulamento con teli di polietilene | Salamoie Acque saline Ceneri Resine | Metalli tossici (es. Cr, Pb, Cd) Radionuclidi | Incapsulamento | Isolamento |
| Soil flushing | Suoli aperti permeabili | Metalli Oli | Asportazione degli inquinanti per azione di trascinamento di fluidi | Lavaggio |
| Barriere filtranti | Acque | Metalli, sostanze organiche | Cattura degli inquinanti, Neutralizzazione | Adsorbimento |
| Estrazione dei metalli | Suolo | Pb, Hg, Cr | Sedimentazione seguita da estrazione dei metalli | Separazione Estrazione chimica |



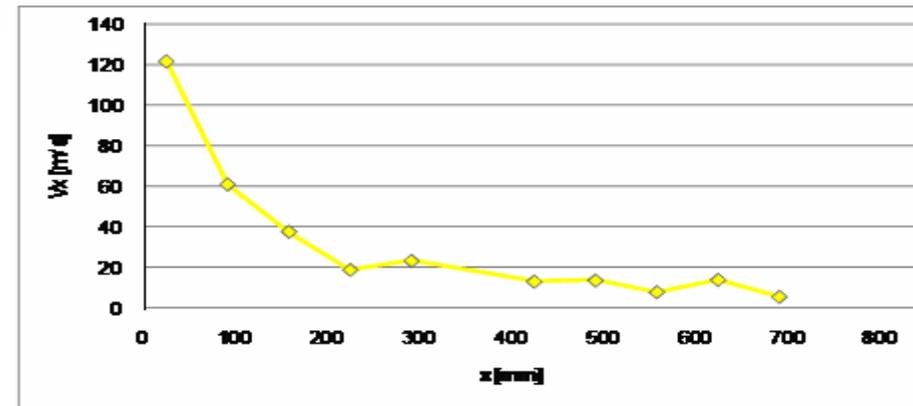
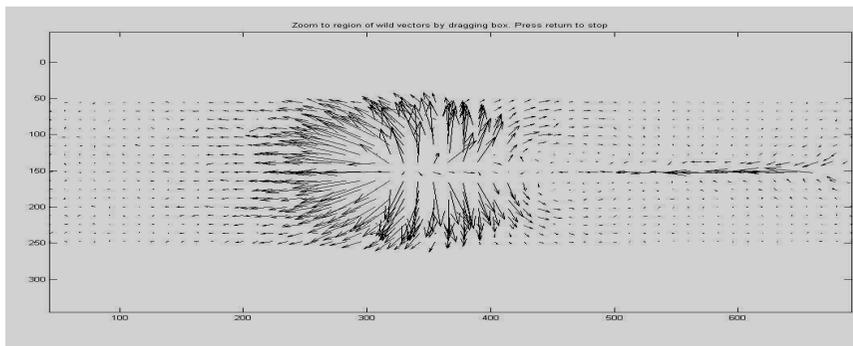
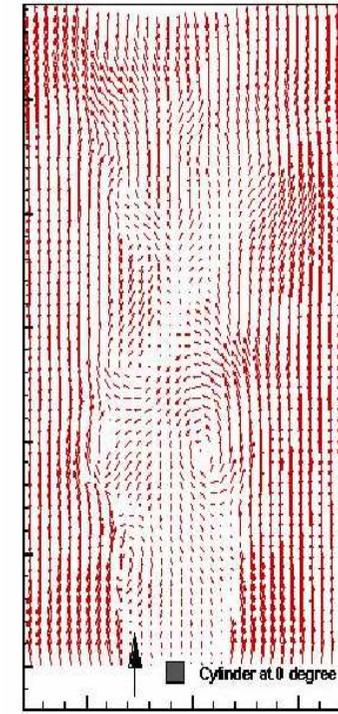
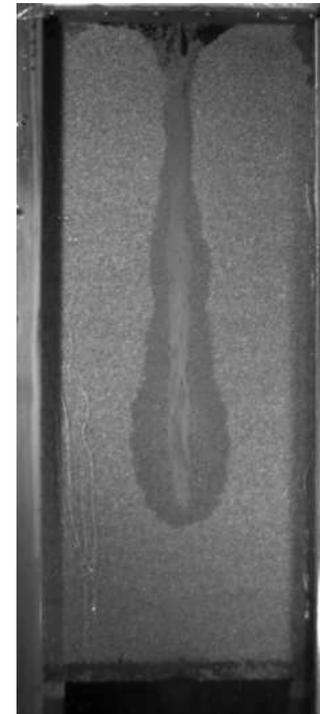
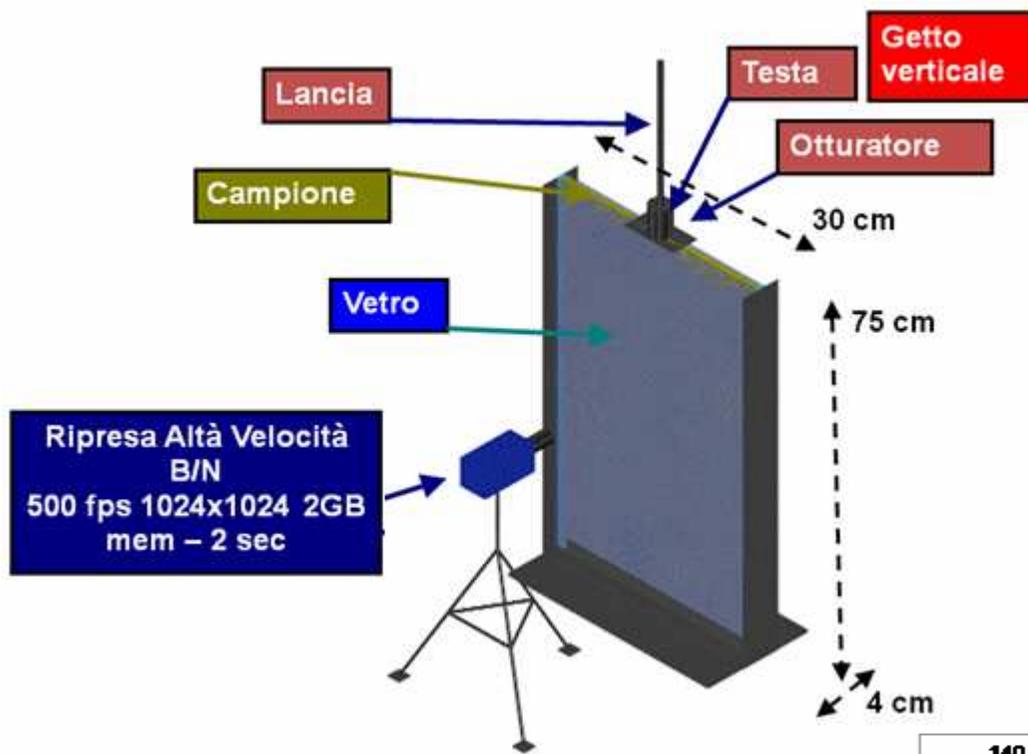
APPLICATION OF WATERJET TO SOILS FOR IN SITU REMEDIATION

Processi di soil washing



Il soil washing è un metodo di trattamento che utilizza liquidi (essenzialmente acqua talvolta combinata con additivi chimici) per separare e rimuovere contaminanti pericolosi dai suoli

APPLICATION OF WATERJET TO SOILS FOR IN SITU REMEDIATION



Indagini sperimentali

ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007



APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA WATERJET PER LA BONIFICA IN SITU DEI SUOLI INQUINATI

Soil flushing

L'uso di getti d'acqua appare promettente in quanto capace di aumentare la permeabilità del suolo trattato, liberare i contaminanti e asportarli grazie al flusso d'acqua.

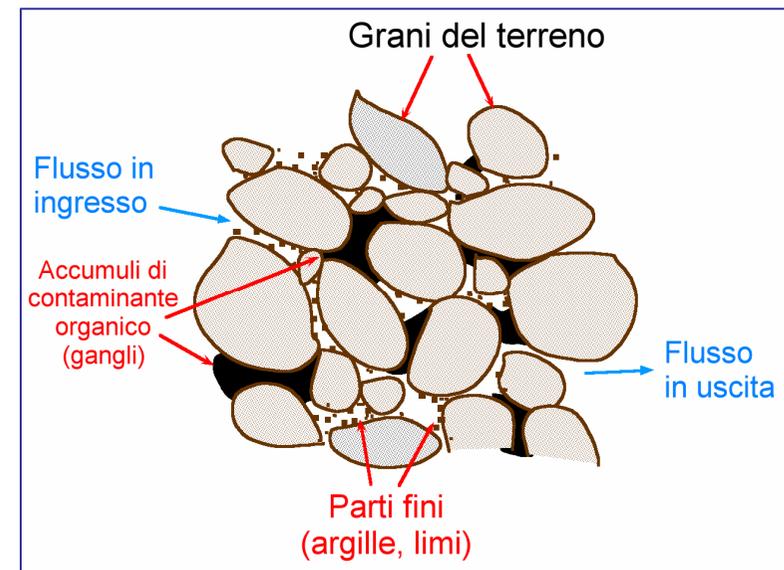
Acqua come veicolo di additivi

solventi, surfattanti, tensioattivi...

Permeabilità del mezzo
Energia del getto
Chimica

Acqua come agente depurante

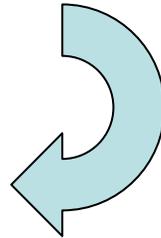
«scrubbing»



APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA WATERJET PER LA BONIFICA IN SITU DEI SUOLI INQUINATI



Procedura sperimentale

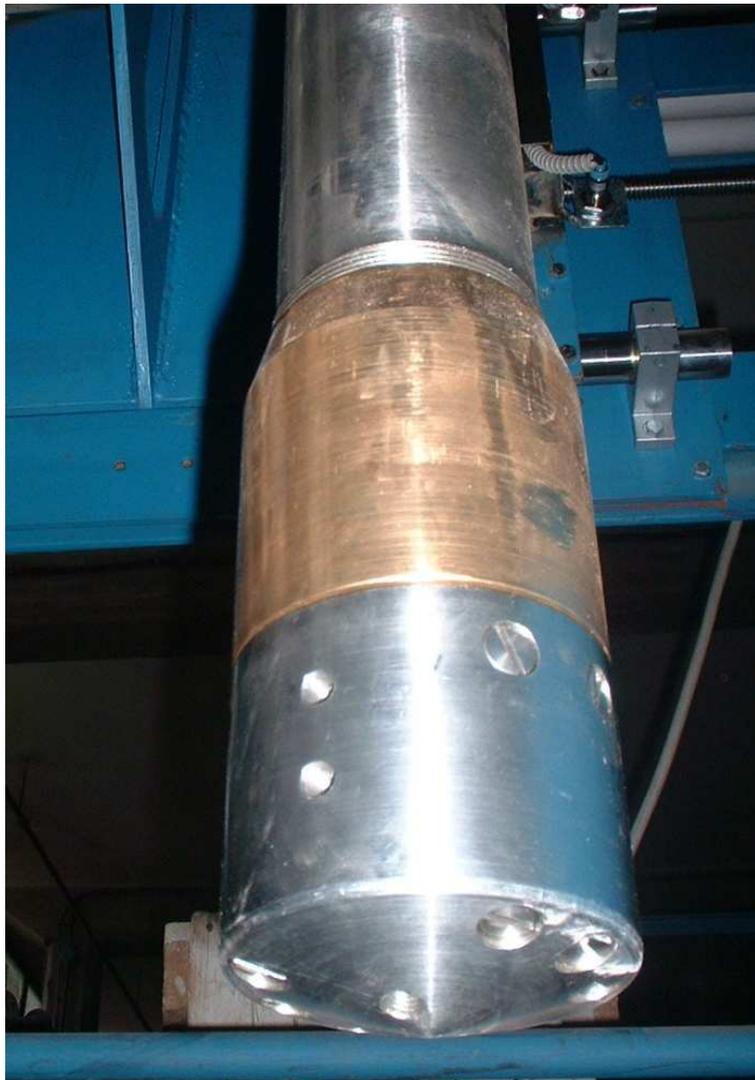


ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007



APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA WATERJET PER LA BONIFICA IN SITU DEI SUOLI INQUINATI

Soil flushing



APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA WATERJET PER LA BONIFICA IN SITU DEI SUOLI INQUINATI

Moto del getto d'acqua

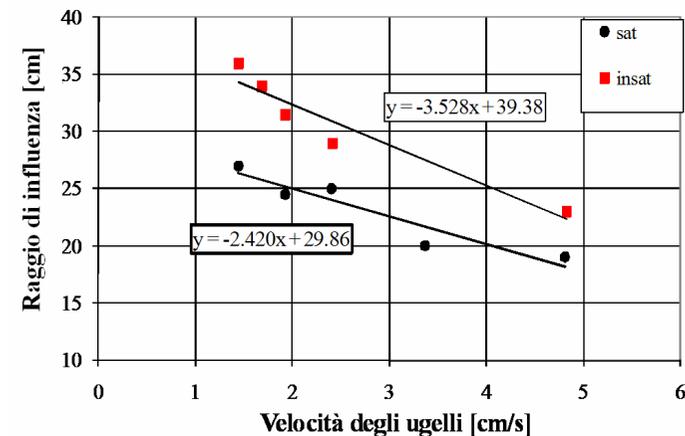
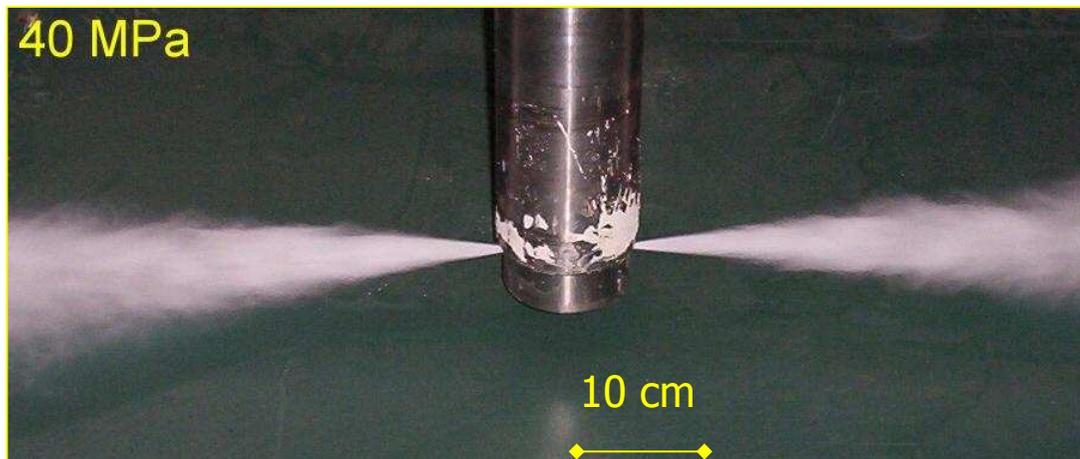
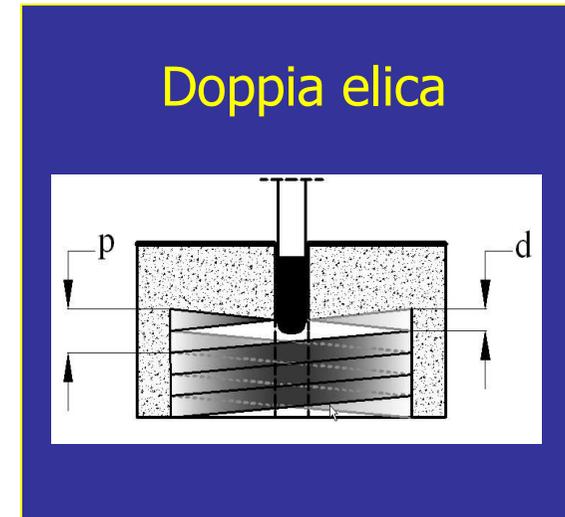
Traslazione verticale (v_a)

+

Rotazione attorno all'asse della lancia (ω)

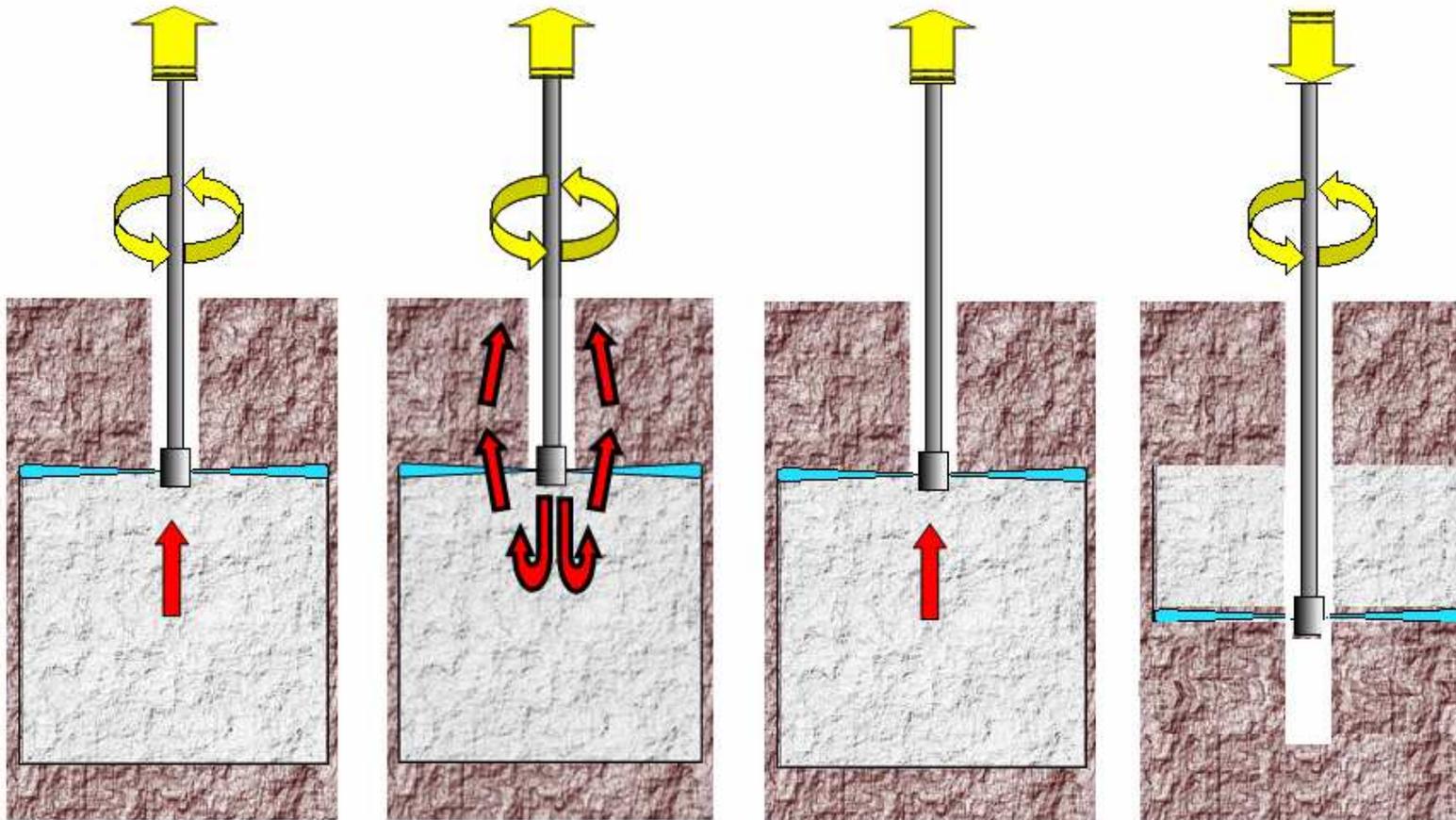
=

Moto roto-traslatorio



APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA WATERJET PER LA BONIFICA IN SITU DEI SUOLI INQUINATI

Tecniche di intervento per soil flushing o formazione PRB



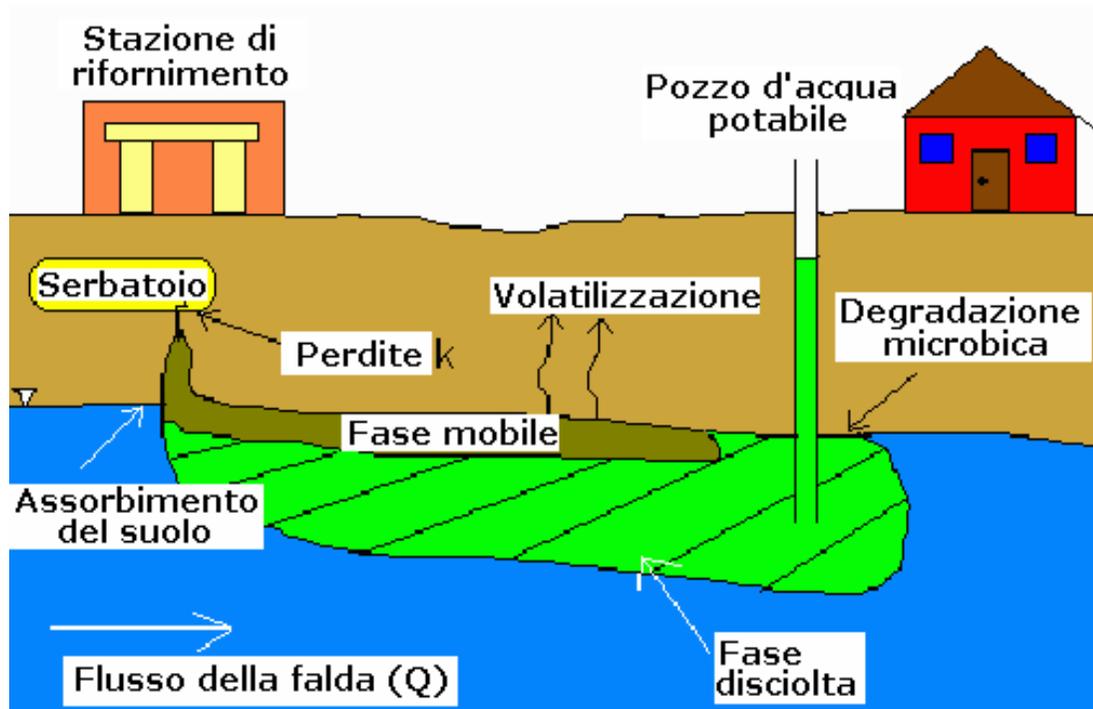
Aspirazione dei fanghi lungo lancia

Risalita non forzata dei fanghi

Aspirazione dei fanghi lungo lancia a rotazione bloccata

Elaborazione del terreno in fase di penetrazione

APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA WATERJET PER LA BONIFICA IN SITU DEI SUOLI INQUINATI



Il lavaggio del suolo per mezzo di un flusso liquido è una delle tecnologie maggiormente impiegate per la rimozione degli idrocarburi

INQUINAMENTO DA IDROCARBURI

APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA WATERJET PER LA BONIFICA IN SITU DEI SUOLI INQUINATI



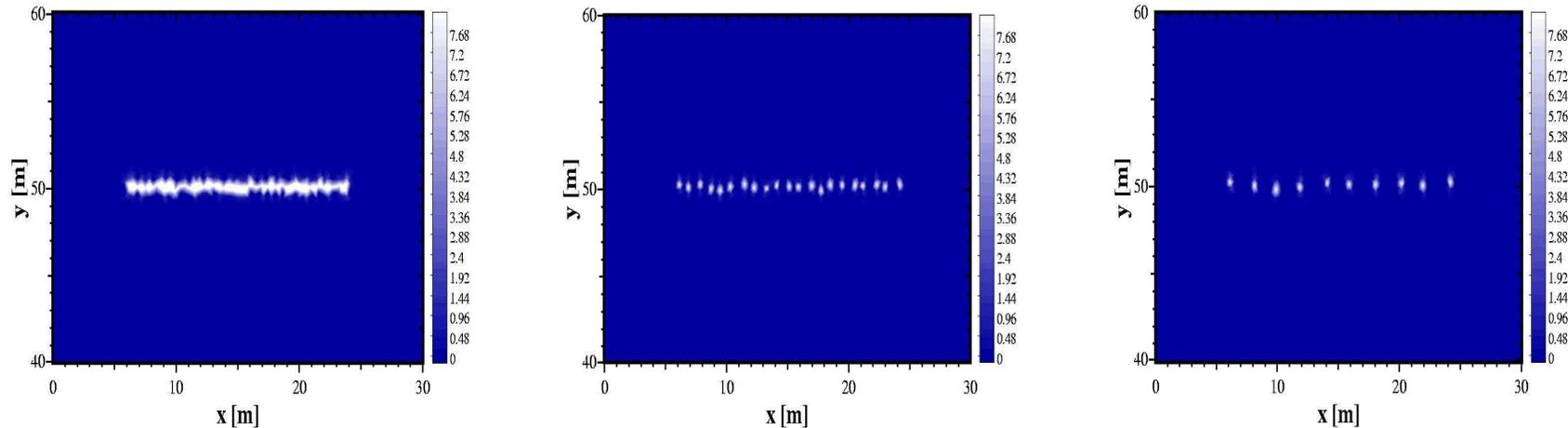
Prove sul campo

ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007



BARRIERE PERMEABILI REATTIVE

Lo studio degli effetti di una barriera reattiva sulla diffusione di un contaminante coinvolge tre diversi processi fisici: il flusso nel mezzo saturo, il trasporto multispecie e la biodegradazione

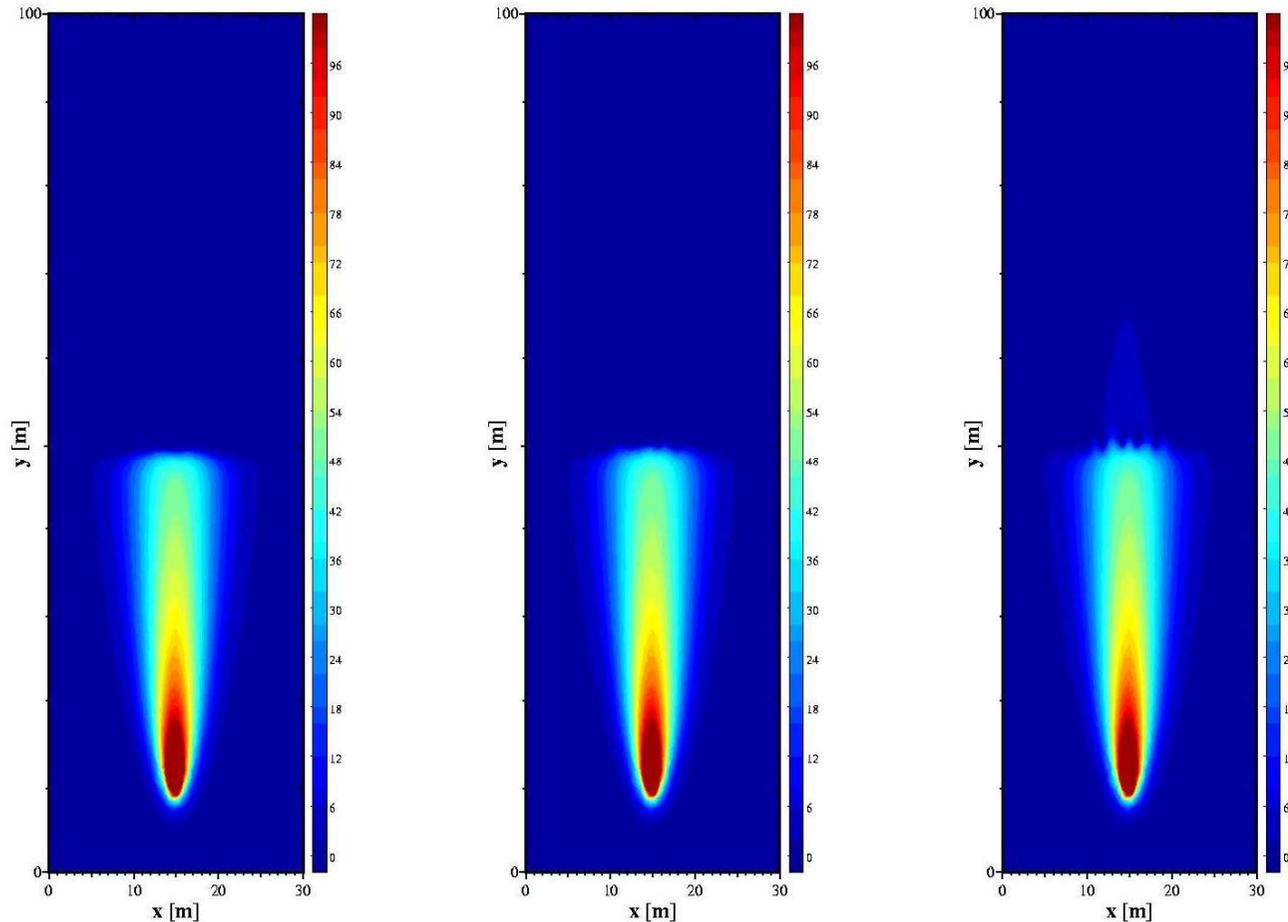


Condizioni iniziali dell'ossigeno per la barriera continua (sinistra), per il caso dei pozzi (centro) e per il caso water-jet (destra).

| | Larghezza PRB | Quantità | Costo unitario | Costo [€] |
|-------------------------|---------------|----------|----------------|-----------|
| Trincea continua | 80 cm | 18 m | 1500 €/m | 27000 |
| Pozzi | 10 cm | n° 21 | 1500 €/cad | 31500 |
| Waterjet | 100 cm | n° 10 | 2500 €/cad | 25000 |



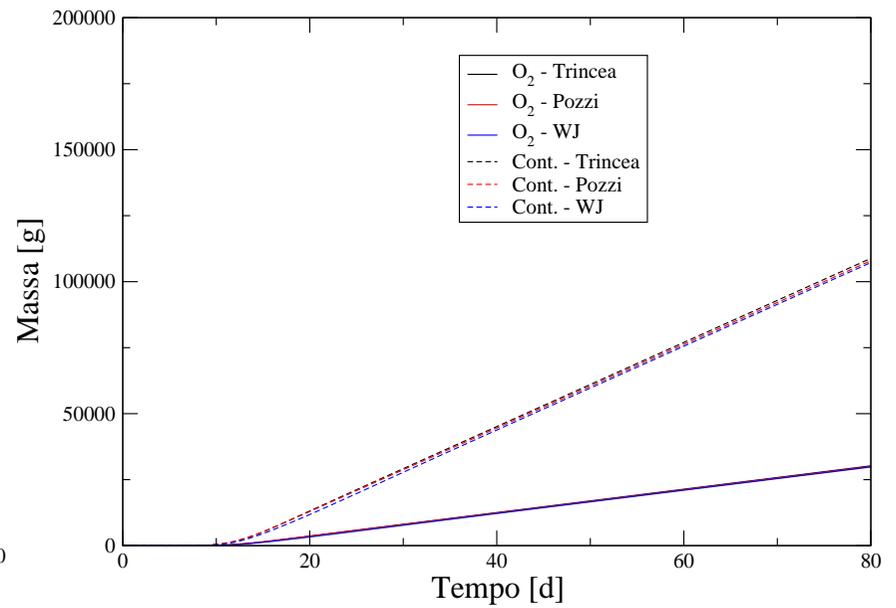
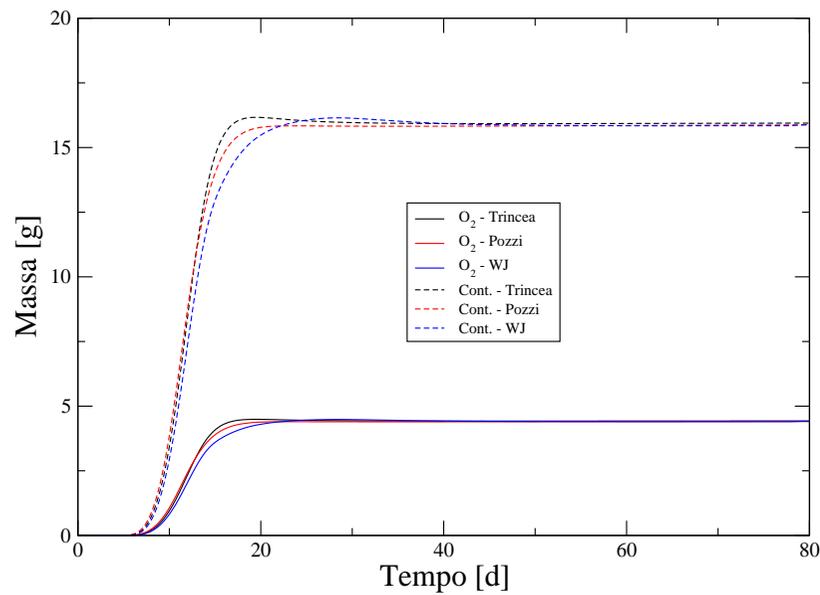
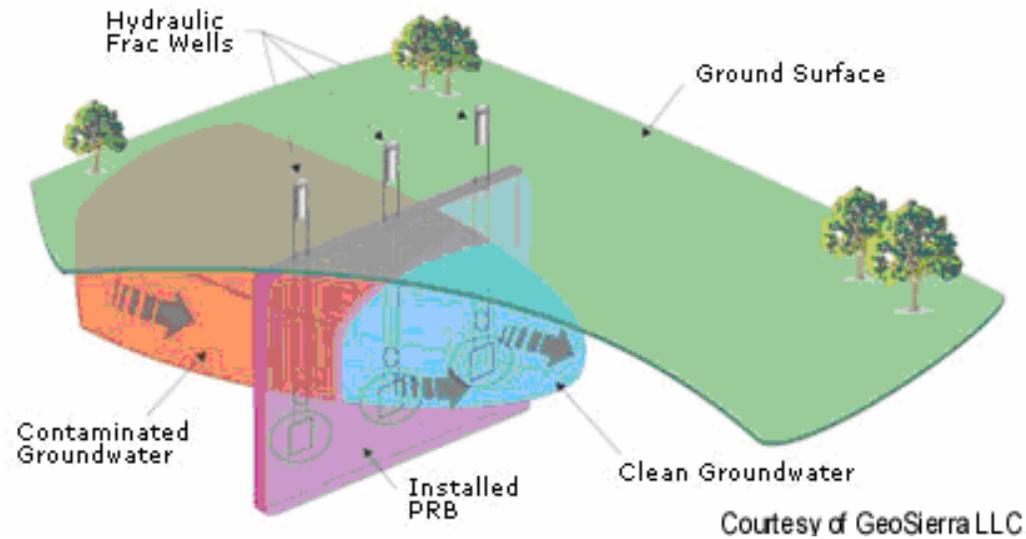
BARRIERE PERMEABILI REATTIVE



Risultato delle simulazioni al raggiungimento delle condizioni di stazionarietà (80 giorni)

L'efficacia della tecnica waterjet per la costruzione delle barriere permeabili reattive, è stata valutata mediante approccio modellistico. Il modello prevede che, nei nodi facenti parte della barriera, la concentrazione di ossigeno sia costante nel tempo e pari a 8 mg/l

BARRIERE PERMEABILI REATTIVE



ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007





EXCHANGES ITALY – SOUTH AMERICA

Department of Mining and Minerals Engineering
University of Cagliari
Cagliari, Italy



ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa September 23-26, 2007



Becarios ALFA en lo Exterior:

| Becario ALFA | <i>Estudiante Daniele Taccori</i> |
|---------------------|--|
| País de Intercambio | Bolivia |
| País de Origen | Italia |
| Título | Environmental problems in the Colquiri metal mine, Bolivia (investigation) |
| Sup. Responsable | Jaime Rocha Valenzuela |





Becarios ALFA en la UNICA:

- Universidad S. Augustin (Arequipa, Peru)

| | |
|---------------------|---|
| Becario ALFA | <i>Eng. Marcelo Rodriguez</i> |
| País de Intercambio | Italia |
| País de Origen | Peru |
| Titulo | The use of zeolites for in situ soil decontamination (PhD investigation) |
| Sup. Responsable | Antonio Zucca |





Becarios ALFA en la UNICA:

- Universidad S. Augustin (Arequipa, Peru)

| Becario ALFA | <i>Estudiante Alan Calisaya</i> |
|---------------------|---|
| País de Intercambio | Italia |
| País de Origen | Peru |
| Titulo | Waterjet disintegration of wornout tyres for the recovery of rubber and metal (investigation) |
| Sup. Responsable | Raimondo Ciccu |





Becarios ALFA en la UNICA:

- Universidad Mayor S. Andres (La Paz, Bolivia)

| Becario ALFA | <i>Estudiante Remedios Ticona Vargas</i> |
|---------------------|--|
| País de Intercambio | Italia |
| País de Origen | Bolivia |
| Título | Electrokinetic studies for metal removal from contaminated soils (investigation) |
| Sup. Responsable | Aldo Muntoni, Annamaria Polcaro |





Profesores visitantes en lo Exterior:

| | |
|---------------------|---|
| Becario ALFA | <i>Raimondo Ciccu , Battista Grosso</i> |
| País de Intercambio | Chile and Peru |
| País de Origen | Italia |
| Activity | Meetings, lectures and visits to the mines and plants |
| Sup. Responsable | Mario Sanchez |



ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007





Profesores visitantes en lo Exterior:

| Becario ALFA | <i>Raimondo Ciccu</i> |
|---------------------|------------------------------|
| País de Intercambio | Spain |
| País de Origen | Italia |
| Activity | Meeting in Madrid |
| Sup. Responsable | Antonio Ballester |





Profesores visitantes en lo Exterior:

| | |
|---------------------|--|
| Becario ALFA | <i>Raimondo Ciccu , Battista Grosso</i> |
| País de Intercambio | Ecuador and Bolivia |
| País de Origen | Italia |
| Activity | Meetings, and visits to the mines and plants |
| Sup. Responsable | Luis Aguirre and Jaime Rocha |



ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007





Profesores visitantes en lo Exterior:

| | |
|---------------------|--------------------------------------|
| Becario ALFA | <i>Raimondo Ciccu</i> |
| País de Intercambio | Brazil |
| País de Origen | Italia |
| Activity | Meeting in Buzios and visit to CETEM |
| Sup. Responsable | Roberto Vilas Boas |





ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007





ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007





ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007





ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007





ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007





ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007





ALFA TECLIMIN Meeting, Arequipa, Peru, September 23-26, 2007

