

Valutazione delle prove effettuate

La valutazione dei risultati delle prove effettuate assumono come ipotesi di partenza una corretta esecuzione degli esperimenti richiesti, il che non è controllabile con la documentazione in nostro possesso. La semplicità delle prove effettuate, come imposto dalle circostanze, consente una valutazione abbastanza generica dei risultati, salvo per alcuni aspetti per i quali è possibile esprimere una valutazione quantitativa.

A) Energia e potenza del fascio

L'energia del fascio impiegato è stimabile tra i 150000 e i 4 milioni di Joule; i numeri dati corrispondono all'energia necessaria per fondere rispettivamente vaporizzare 144 gr. di acciaio inox. Una valutazione più precisa sarà forse possibile al termine delle analisi metallografiche su trucioli per uno dei campioni di acciaio inox. Poiché, come risulta dalle prove, il fascio è quasi certamente a tipo impulsato, con durata degli impulsi minore di 0,1 sec, occorrerebbe una esatta conoscenza della durata per poter determinare la potenza del fascio. Si può comunque dare una stima del limite superiore della potenza in gioco, assumendo una durata

dell'impulso pari a 0,1 sec. L'intero sistema ha una potenza totale del fascio di 1500 Kw ed una densità di potenza di 150 Kw/cm² nel caso della fusione del metallo; nel caso della vaporizzazione del metallo la potenza totale del fascio sarebbe di 40.000 Kw e la densità di potenza di 4.000 Kw/cm².

B) Natura del fascio

Circa la natura del fascio, le semplici prove effettuate non consentono una risposta sufficientemente precisa, anche se vi è qualche indicazione che porterebbe ad escludere alcune fra le sorgenti più comuni, quali ad esempio getto di plasma, fasci di particelle cariche accelerate, fasci di neutroni, ecc.

In ogni caso, anche nell'ipotesi non ancora escludibile di fascio laser, le energie e soprattutto le potenze in gioco si porrebbero al di là dei limiti dell'attuale tecnologia.

Si può in ogni caso escludere che si tratti di fasci di anti-particelle o di anti-atomi.

ti

Roma, novembre 1976

1 - Considerazioni preliminari

I campioni in esame consistono in due piastre di acciaio inossidabile siglate rispettivamente con i numeri 2 e 5. La piastra # 2 (200x200x20 mm) presenta un foro centrale (vedi fig. 1 e 2) mentre la piastra # 5 (250x250x20 mm) presenta tre fori (vedi fig. 3 e 4). Questi tre fori sono stati prodotti con un "fascio" la cui sorgente distava dalla piastra rispettivamente 1 m, 2 m, 3 metri.

Attorno a ciascun foro su entrambe le facce delle piastre sono presenti ampie zone di ossidazione a colori iridescenti mentre all'interno dei fori, la cui forma ricorda un quadrifoglio irregolare è visibile uno strato di metallo fuso e solidificato in goccioline su una superficie rugosa con notevoli porosità (vedi fig. 5).

I fori hanno una forma quadrata con quattro lobi più o meno regolari ai vertici. L'asimmetria dei lobi è molto pronunciata nel foro più piccolo della piastra # 5 con una prevalenza nella direzione NW - SE (fig. 3) ed ancora ben visibile nel foro intermedio della stessa piastra con l'analoga asimmetria NW - SE. Ciò fa supporre che le forature siano avvenute con la piastra semplicemente traslata. L'asimmetria dei lobi è ancora evidente nel foro più grande della piastra # 5 (stessa orientazione) ed in quello della piastra # 2.

Si possono fare alcune considerazioni sulla forma lobata dei fori e sulla loro asimmetria.

- i) La sorgente potrebbe essere costituita da quattro cannoni disposti secondo un quadrato o un rombo ognuno dei quali genera un fascio leggermente divergente. Lo schizzo A mostra, in base alle distanze ed alle dimensioni dei fori che la sorgente non dovrebbe essere puntiforme ma dovrebbe avere una dimensione di 20 ~ 25 mm ammesso che durante le tre forature della piastra # 5 la collimazione del fascio non sia stata variata.

larità sui quattro lati (vedi p.es. fig. 6 e 7): alcuni lati sono relativamente rettilinei, altri presentano curvature verso l'interno più o meno accentuate. Col sistema delle quattro (o cinque) sorgenti si possono spiegare queste peculiarità ammettendo una leggera dissimmetria delle quattro sorgenti rispetto ai vertici di un quadrato come indicato nello schizzo B. Meno credibile sembra il fatto che anziché quattro cannoni, si siano avuti da un unico cannone quattro o più impulsi in rapida sequenza mentre il cannone descriveva una orbita all'incirca circolare.

- iii) Non si può a questo punto escludere, sebbene successive considerazioni lo facciano apparire molto improbabile, il fatto che i fori siano stati eseguiti con un fascio molto sottile che abbia tagliato un tassello fondendo il metallo lungo i bordi del quadrilatero. Un movimento del fascio a velocità costante lungo due assi perpendicolari (X:Y) taglierebbe un quadrato con gli angoli fortemente arrotondati verso l'esterno. Se il fascio avesse invece fatto una traiettoria a 8, questo potrebbe anche spiegare la forma del foro a lati all'incirca rettilinei alternati a lati con una notevole curvatura verso l'interno.

Le aureole iridescenti attorno ai fori su entrambe le facce delle piastre sono caratteristiche dell'ossidazione dell'acciaio inossidabile e confermano che la foratura è avvenuta in aria con un notevole riscaldamento della zona attorno ai fori. La mancanza di metallo colato sulle facce delle piastre e non presentando queste evidenti segni di rasatura, lascia supporre, essendo state le piastre forate in posizione verticale, che una discreta parte del metallo del foro sia stata vaporizzata istantaneamente e che la rapida formazione di vapore abbia provocato una elezione della parte liquida. Questa vaporizzazione potrebbe aver ingigantito il diametro della zona di ossidazione causando una "bruciatura" superficiale della piastra senza un corrispondente riscaldamento al suo interno. Le aureole inoltre in qualche caso sono sensibilmente eccentriche rispetto al centro dei fori o più dilatate in una direzione che non sempre è quella di maggiore asimmetria dei fori.

I bordi dei fori in entrambe le piastre sono leggermente più sbavati sulle facce non numerate e questo potrebbe far supporre che la faccia numerata sia stata la faccia esposta verso la sorgente. Questo potrebbe anche essere confermato dal fatto che le aureole di ossidazione sono un po' più piccole sulle facce non numerate.

La faccia numerata della piastra # 2 presenta al di là delle aureole iridescenti, alcune inclusioni nerastre che se recuperabili verranno analizzate. Le dimensioni di questi granuletti che sembrano incastrati nella piastra sono dell'ordine del mm. Il più grosso dei granuletti è sporgente e si può escludere che appartenga all'acciaio inossidabile. Dato che la zona di metallo immediatamente attorno ai granuli ed il metallo sottostante non sono minimamente ossidati, si può escludere che i granuli siano goccioline schizzate via dal foro durante la foratura. Sembra più probabile che i granuli si siano conficcati nella piastra o durante l'operazione di taglio della piastra (alla cesaia) successivamente buttando la pesante piastra su un piano di lavoro cosparso di questi granuli che a prima vista sembrano ossidi molto duri che sono penetrati nella piastra senza frantumarsi.

La piastra # 5 non presenta simili inclusioni ma verso i bordi della faccia non numerata si trovano due incrostazioni nere che sembrano residui carboniosi.

2 - Calcolo dell'energia richiesta

E' stata presa in considerazione la piastra # 2 che presenta il foro e la zona termicamente alterata di maggiori dimensioni. Il foro è stato supposto di sezione quadrata con lato di 35 mm. nella piastra di 20 mm di spessore.

Nel calcolo approssimativo sono stati usati i seguenti valori:

densità acciaio = 8 g/cm^3

calore specifico (solido = liquido) = $0,12 \text{ cal/g.}^\circ\text{C}$

temperatura fusione = 1530°C

calore latente di fusione = 70 cal/g

temperatura di ebollizione = 3000°C

calore latente di ebollizione = 1500 cal/g

i) Calore richiesto per riscaldare la zona esterna al foro

Dall'esame delle aureole di ossidazione attorno ai fori e approssimando le aureole a cerchi concentrici, si è stimato che il metallo ad una distanza di 35 mm dal centro del foro ha raggiunto la temperatura di 1100°C ; a una distanza di 42,5 mm la temperatura di 700°C ed a una distanza di 50 mm è stata raggiunta la temperatura di circa 500°C . Questa ultimo anello corrisponde alla netta demarcazione tra il colore dorato e l'inizio della zona iridescente ed essendo un po' più sicuro degli altri i calcoli sono stati imposti su di esso.

Peso di metallo supposto uniformemente riscaldato

a 500°C ($\phi = 100 \text{ mm}$)

1.040 g

Calore richiesto per riscaldamento a 500°C

62.500 cal.

tenendo presente il calore disperso all'esterno prima che l'anello di diametro = 100 mm raggiungesse i 500° ed il calore richiesto per riscaldare anche la parte esterna a quest'anello, il valore trovato dovrebbe essere aumentato del 40~50% cal che il calore assorbito radialmente dalla piastra attorno al foro dovrebbe aggirarsi sulle 100.000 cal.

ii) Calore richiesto per fondere il metallo nel foro

Peso di metallo portato alla temperatura di fusione

200 g

Calore richiesto per portare 200 g a 1500°C e fonderli

50.000 cal.

che sommato al calore richiesto per il riscaldamento del metallo attorno al foro dà circa 150.000 cal corrispondente a 620.000 joules. Questo è ovviamente un'ipotesi di minimo.

iii) Calore richiesto per vaporizzare il metallo del foro

Peso di metallo portato allo stato di vapore 200 g.

Calore richiesto per vaporizzare 200 g di metallo 390.000 cal.

che sommato al calore richiesto per il riscaldamento del metallo attorno al foro dà circa 490.000 cal corrispondente a 2.000.000 joules. Questa è un'ipotesi che però dovrebbe essere molto più vicina alla realtà che non l'ipotesi ii).

3 - Esami eseguiti

Per eseguire i vari esami, dalla piastra # 2 è stata asportata una striscia di metallo larga circa 30 mm da un bordo del foro fino alla estremità della piastra in modo da comprendere tutta la zona termicamente interessata. I vari tagli sono stati eseguiti a secco onde evitare di asportare eventuali sostanze solubili in acqua. Su questa striscia delle dimensioni di 30x80x20 mm sono stati eseguiti i vari esami.

a) Esame microscopico

Lo scopo di questo esame era duplice: confermare se la distribuzione delle temperature descritte dalle aureole iridescenti di ossidazione superficiale fosse valida anche all'interno della piastra e vedere se la zona fusa al bordo del foro presentava qualche caratteristica particolare. L'esame è stato eseguito su una sezione "longitudinale" che si estendeva dal bordo del foro al bordo della piastra.

L'acciaio inossidabile della piastra, lontano dalla zona termicamente influenzata presenta i caratteristici grani austenitici equiassici (tipici degli acciai inossidabili ricristallizzati) di dimensioni medie di circa 50 μ m (vedi fig. 8). E' pure evidente una sensibile disomogeneità di composizione nella lega che si manifesta con la presenza di bandature (vedi fig. 9);

Questo è dovuto a una struttura disomogenea generatesi nella colata del materiale originario che le successive laminazioni hanno allungato nella direzione di laminazione.

L'esame della zona termicamente alterata ha evidenziato che lo spessore di materiale fuso aderente alla massa solida è molto ridotto e a tratti inesistente salvo in alcune zone dove sono presenti delle goccioline di materiale fuso. La fig. 10 mostra il confine tra una goccia di metallo aderente alla superficie (caratterizzata da una struttura dendritica a forma arabesca) e la zona rimasta solida. La presenza di bande di diversa composizione chimica evidenziate in fig. 9 (e quindi diversa temperatura di fusione) che hanno una direzione perpendicolare all'interfaccia solido-liquida, ha provocato una fusione (parziale) del materiale più basso fondente anche all'interno del materiale rimasto solido.

Il fatto che la quantità di materiale fuso in generale sia costituita solo da un sottilissimo velo sul solido, porta alla conclusione che il liquido deve essere stato spazzato via in modo violento.

Proseguendo l'esame all'interno della zona termicamente alterata, si possono osservare due zone ben distinte: una prima zona adiacente al bordo del foro che si estende per una profondità di circa 4 mm e che non presenta precipitazione di carburi ai bordi dei grani e più esterna una zona (profonda 8-9 mm) in cui il carburo ricco in cromo ($M_{23}C_6$) contenuto in soluzione solida nel metallo è precipitato al bordo dei grani austenitici. Questo è visibile in fig. 11 (luce ordinaria) ed in fig. 12 quest'ultima in luce polarizzata dove si vede che i carburi precipitati per effetto termico, formano un reticolo lucente quasi continuo ai bordi dei grani. L'estensione di queste due ultime zone è sostanzialmente uniforme attraverso lo spessore della piastra (leggermente meno estese dalla parte non numerata della piastra) e confermano che il riscaldamento è avvenuto anche all'interno della piastra.

La zona adiacente al bordo del foro, che non presenta precipi-

tazione di carburi sembra a prima vista troppo estesa. Potrebbe essere spiegata ammettendo che benchè si sia raggiunta una temperatura molto elevata, il raffreddamento al bordo del foro sia avvenuto piuttosto rapidamente per cui la precipitazione dei carburi (la precipitazione è lenta) non ha avuto tempo per avvenire. La precipitazione è avvenuta invece nella massa più lontana dal bordo del foro che si è raffreddata più lentamente. Tenendo presente l'eccentricità della zona esaminata rispetto al centro delle aureole di ossidazione, le temperature massime raggiunte sono abbastanza consistenti con quelle dedotte dall'ossidazione superficiale. Sembra che il diametro della zona che si era supposto avesse raggiunto la temperatura massima di 700°C dovrebbe essere ristretto di circa 10 mm e di conseguenza dovrebbe essere ristretto (di un po' meno) il diametro della zona supposta a 1100°C .

L'esame eseguito sulla superficie all'interno del foro, ha mostrato zone in cui il metallo è rimasto nudo (la pellicola di ossido, fragile, si è staccata in alcuni punti) frammiste a zone ricoperte da una più o meno spessa pellicola di ossido (vedi fig. 13). Nelle zone denudate che rappresentano solo qualche per cento della superficie, si vedono o i grani austenitici originari come in fig. 13 o zone di metallo fuso (fig. 14) con formazione di strutture dendritiche. Il rimanente della superficie risulta coperta di uno strato di ossidazione (come visibile ai bordi della fig. 13) sul quale spesso è visibile una condensazione in minutissime goccioline ($\varnothing = 1/5 \mu\text{m}$) di metallo ossidato (vedi fig. 15).

E' stata pure esaminata la superficie ossidata delle aureole iridescenti. Vicino al bordo del foro si vedono molte zone come in fig. 16 con delle minute goccioline ($\varnothing 3 \sim 10 \mu\text{m}$) aderenti ad un fondo di ossido. Trovandosi le goccioline sopra lo strato di ossido, sembrerebbe che la loro formazione fosse avvenuta successivamente all'ossidazione come se del metallo si fosse condensato in un secondo tempo. Esternamente a questa zona, la spessa pelli-

cola di ossido si mostra fessurata e rotta in molti punti (vedi fig. 17) mentre ancor più lontano dal bordo del foro lo strato di ossido è molto più sottile e non riesce più a nascondere le irregolarità originarie della superficie della piastra (grafiatore) come si vede in fig. 18.

b) Esami delle superfici

Sono state esaminate entrambe le superfici della piastra (fronte e retro) in modo da esplorare la zona ossidata dal bordo del foro fino all'estremità delle aureole. Sono stati impiegati tre metodi: fluorescenza X, spettroscopia e microsonda. Con la fluorescenza X la zona analizzata ha un diametro di 8 mm. circa mentre con la microsonda la zona esaminata ha le dimensioni di pochi μ m. I risultati possono essere così riassunti.

i) Esame alla fluorescenza X. Sono state esaminate quattro zone:

- a) zona lontana dal foro, presa come standard di riferimento
- b) zona fusa all'interno del foro
- c) zona superficiale più vicina possibile al bordo del foro
- d) zona superficiale lontana 30~35 mm. dal bordo del foro

Con la fluorescenza X è stato possibile mettere in evidenza il ferro, il cromo, il nichel, il manganese, il rame e il molibdeno. E' stata presa la $K\beta$ del ferro come standard interno. Nella tabella che segue sono riportati i valori dei rapporti dell'intensità del picco più specifico dell'elemento rispetto alla $K\beta$ del ferro.

Elemento	Z o n e			
	a	b	c	d
Fe	riferim.	riferim.	riferim.	riferim.
Cr	0,85	0,89	0,90	0,89
Ni	0,72	0,47	0,67	0,74
Mn	0,44	1,75	0,94	0,45
Mo	0,27	0,24	--	--

Si può constatare un notevole aumento della concentrazione del manganese nella zona fusa (b) e nella zona vicina al boro del foro (c) rispetto allo standard (a). In questo tipo di acciaio inossidabile la concentrazione del manganese è circa 1%. Sensibile risulta anche la diminuzione del nichel nella zona fusa mentre la concentrazione degli altri elementi sostanzialmente rimane costante.

ii) Esami spettroscopici

E' stata scalpellata un po' di polvere nerastra dalla zona fusa e ne è stata fatta un'analisi spettroscopica (arco) che ha confermato la presenza dei seguenti elementi: ferro; cromo; nichel; manganese; alluminio; cobalto; rame; molibdeno; e vanadio. I primi quattro elementi sono i costituenti principali dell'acciaio inossidabile in esame mentre gli ultimi quattro sono quasi sempre contenuti negli acciai in bassissime concentrazioni ($< 1\%$). Anomalia è la presenza di una certa quantità di alluminio (potrebbe essere dell'ordine anche di 1%).

Per spettroscopia (scintilla) sono state analizzate le zone corrispondente alla zona di riferimento (lontana dal foro), alla zona fusa e alla zona ossidata più vicina possibile al foro. Da queste analisi risulta l'assenza di alluminio nel materiale di riferimento mentre risulta confermata la sua presenza sia nella zona fusa che in quella ossidata vicino al foro.

L'alluminio non è rivelabile per fluorescenza X.

iii) Esami alla microsonda

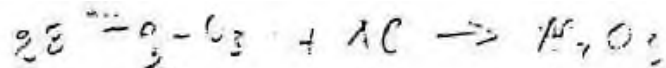
L'esame è stato dapprima eseguito su una superficie lontana dalla zona termicamente alterata e le medie dei conteggi eseguiti in vari punti ($\phi = 2 \mu\text{m}$) ha dato i seguenti risultati espressi in colpi/min.

ferro = 70.000

nichel = 6.000

cromo = 19.000

manganese = 1.000



10. J.C.F.
A.C.

Questi valori corrispondono bene alla composizione media di questo tipo di acciaio inossidabile che ha all'incirca

Fe = 73% Cr = 17% Ni = 8% Mn = 1~1,5%

La leggera differenza è anche dovuta a una certa disomogeneità chimica fatta osservare durante l'esame metallografico (presenza di bandatura).

E' stata quindi esaminata la superficie ossidata a partire dal bordo del foro dividendola in zona di circa 3 mm ed eseguendo in ogni zona un adeguato numero di conteggi in vari punti per meglio rappresentare la composizione chimica superficiale delle singole zone. I risultati sono i seguenti

Distanza dal bordo fuso (mm)

Elementi	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	> 12
Fe	43.000	64.000	58.000	70.000	74.000
Cr	*	19.000	20.000	20.000	15.000
Ni	1.900	7.200	7.500	7.000	8.000
Mn	7.500	3.200	2.400	1.900	1.800
O ₂	2.800	presente	presente		

Per il cromo nella zona adiacente al bordo del foro si sono ottenuti valori molto diversi da punto a punto e con zone che mostrano un'assenza quasi completa di cromo.

E' stata osservata la presenza di ossigeno in tutte le zone; il basso numero atomico dell'ossigeno provoca un basso rendimento nel conteggio per cui i valori ottenuti non sono stati elencati nella tabella mentre Cr, Mn, Ni e Fe avendo numeri atomici molto vicini, il rapporto dei conteggi è molto vicino al rapporto delle loro concentrazioni.

La diminuzione del conteggio del ferro ai bordi della zona fusa è probabilmente dovuto al fatto che il numero di atomi di ferro per unità di volume nell'ossido è inferiore a quello del metallo.

Pur tenendo conto di questo fatto rimane sempre verso il bordo del foro un più basso contenuto di nichel e un notevolmente più elevato contenuto di manganese. Alla stessa conclusione si era giunti con l'analisi per fluorescenza X.

Sempre alla microsonda sono state esaminate le goccioline mostrate in fig. 16. Queste sembrano essere ricchissime in ossigeno e ferro mentre gli altri componenti risultano quasi assenti come si vede nella tabella seguente.

Elemento	goccioline	strato ossidato sottostante
Fe	57.000	31.000
Cr	1.300	6.000
Ni	300	1.500
Mn	500	2.500

Anche l'alluminio è stato identificato alla microsonda; si è notata la sua presenza sia vicino al bordo del foro che nelle zone più lontane. La fig. 19 mostra la distribuzione topografica dell'alluminio in una zona di circa 100 μ m di lato vicino al bordo del foro; la fotografia ottenuta mediante scansione della superficie raccogliendo la AlK_{α} mostra nelle zone chiare la presenza di alluminio. Questo compare come Al_2O_3 sia nella sottostante matrice di ossido che sottoforma di inclusioni tondeggianti o a bastoncini sopra la matrice.

Prima di trarre delle conclusioni da questa serie di esami, verranno eseguiti esami analoghi su campioni di acciaio inossidabile a cui sia stata fusa (bombardamento elettronico o cannello ossiacetilenico) una estremità per osservare l'esistenza o meno di una migrazione dei costituenti.

Nella tabella seguente sono riportate le temperature di ebollizione (°C) dei principali componenti dell'acciaio inossidabile e l'energia libera ΔG° di formazione dei rispettivi ossidi a 2000°C e 2500°C.

	T ebolliz °C	ΔG° formazione ossido (Kcal/mole)	
		2000°C	2500°C
Fe	2735	-25	-38
Cr	2220	-48	-55
Ni	2840	-45	-55
Mn	2095	-55	-65

Si vede che il manganese è il componente più volatile e quindi più ossidabile per cui per effetto dell'alta temperatura e della presenza di aria, i vapori di manganese si sono preferenzialmente ossidati e depositati come ossido nella zona circostante il bordo del foro. Gli altri componenti hanno avuto un comportamento intermedio o opposto come il nichel che è il meno volatile e meno ossidabile.

E' stata eseguita una fusione di una lamina di acciaio inossidabile lungo un bordo mediante bombardamento elettronico. Nonostante si fosse operato sotto vuoto si è notata una sensibile aureola di ossidazione attorno alla zona fusa. Un'analisi per spettroscopia ha dimostrato che il rapporto Mn/Fe determinato nell'acciaio prima della fusione (posto=1) era divenuto circa 2,7 nella zona dell'aureola esplorata e si era ridotto a 0,6 in una goccia fusa confermando la vaporizzazione del manganese dal liquido e una sua parziale condensazione attorno alla zona fusa.

Calcolo potenza del forno

E' stata presa in considerazione la piastra N. 2 con un foro supposto quadrato di lato di 35 mm. e con i colori di ossidazione corrispondenti alle isoterme transitorie di 1100°C ; 700°C e 500°C rispettivamente formanti cerchi di diametri di 70, 85 e 100 mm. Lo spessore della piastra e di 30 mm. La densità è 8 g/cm³
 $c_p \text{ solido} \approx c_p \text{ liquido} = 0,12 \text{ cal/}^\circ\text{C.g.}$

$$\lambda_{\text{ fusione}} = \text{cal/g } 70$$

$$\lambda_{\text{ evaporazione}} = 1500 \text{ cal/g}$$

$$\text{temperatura di fusione} = 1530^\circ\text{C}$$

$$\text{temperatura evaporazione} \approx 3000^\circ\text{C}$$

1) Caso - Fusione della massa mancante e riscaldamento della zona circostante

$$3,5 \times 3,5 \times 2 = 25 \text{ cm}^3 = 200 \text{ g acciaio fuso}$$

$$1500 \times 200 \times 0,12 = 36.000 \text{ cal}$$

$$200 \times 70 = 14.000 \text{ cal}$$

50.000 cal richieste per la fusione

$$0,78 \times 100 \times 2 = 155 \text{ cm}^3 = 1240 \text{ g}$$

$$- 200$$

1040 g. acciaio che alla fine risultava a una t media di 500°C

$$500 \times 1040 \times 0,12 = 60.000 \text{ cal. richiesta per il riscaldamento}$$

$$\begin{aligned}\text{Caso 1} &= \text{Totale calore richiesto } 50.000 + 60.000 \text{ cal} \\ &= 110.000 \text{ cal} \rightarrow 460.000 \text{ joules}\end{aligned}$$

Caso 2 - Vaporizzazione della massa mancante e riscaldamento della zona circostante

$$\begin{aligned}3000 \times 200 \times 0,12 &= 75.000 \text{ cal} \\ 200 \times 70 &= 14.000 \\ 200 \times 1500 &= 300.000 \\ \hline &390.000 \text{ cal richieste per l'evaporazione}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Caso 2} &= \text{totale calore richiesto} \\ &390.000 + 60.000 \\ 450.000 \text{ cal} &\rightarrow 1.800.000 \text{ joules}\end{aligned}$$

La faccia esposta alla sorgente in entrambe le piastre sembra essere la faccia numerata (2 e 5) per la minor sbavatura esistente e per la presenza di un anello di ossidazione più brillante sulla faccia opposta. Queste deduzioni sono estrapolate dalle condizioni di taglio con metodi convenzionali in aria

Copyright © Rolando

Copyright © Rolando

Copyright © Rolando

3

Q

Copyright © Rolando FELIZZA

Copyright © Rolando FELIZZA

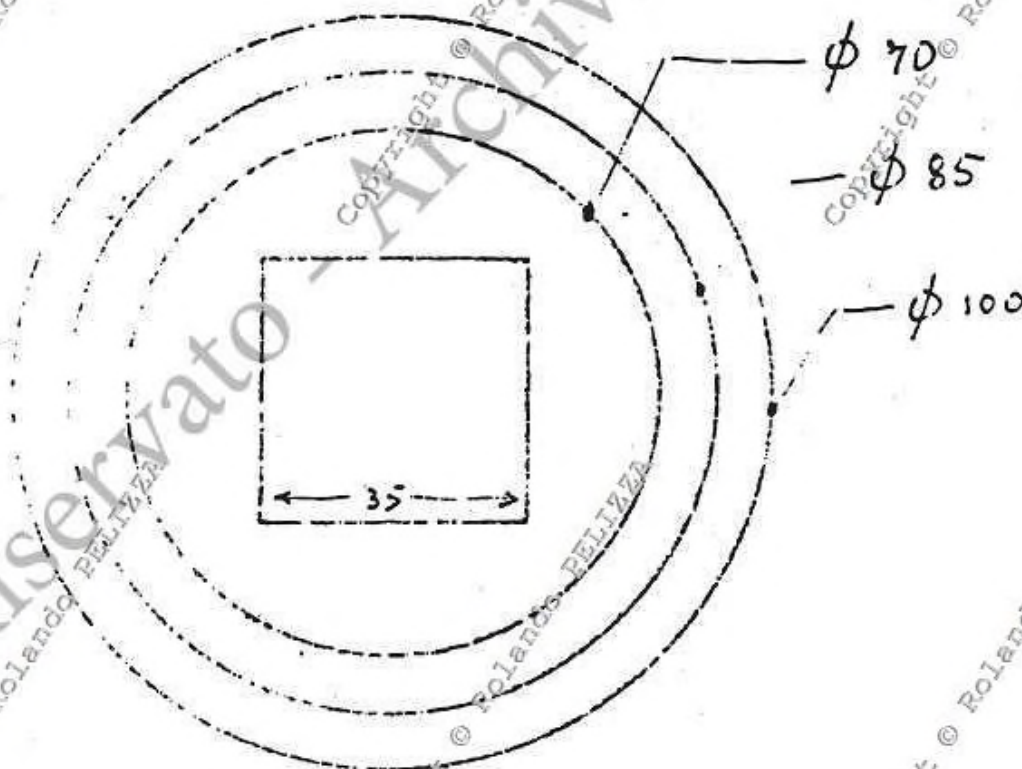
Copyright © Rolando FELIZZA

Riservato - Archivio Ravelli

Copyright © Rolando FELIZZA

Copyright © Rolando FELIZZA

Copyright © Rolando FELIZZA



ELETTRON

VOLTS JOULES

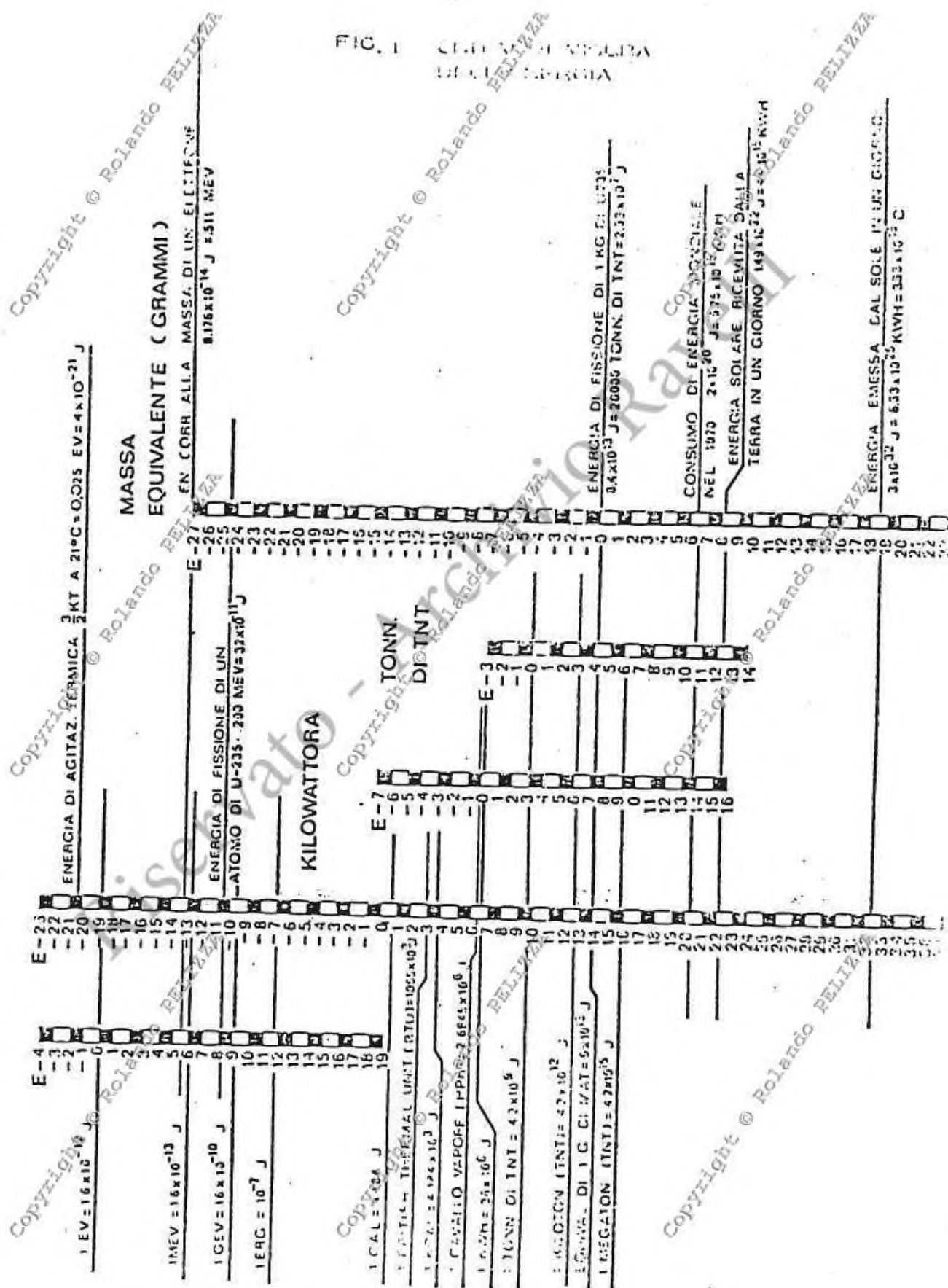


FIG. 1. CHLOROPHYLL FLUORESCENCE INDICES

the peak OPE
discussion of th

5. Principal Re

To sum

- for 19 rates, 1 tions, :
- for 20 rates, a total

These are
Some of them will
produce rather small
and keep to a few

We there
two of these to i
and D in Figure
thus giving four s
Cases C and D
projections to 19
inconsistent befor
and B show that
higher than need
and D, with close

$$\frac{Q}{M} = \frac{c \Delta t_f + \lambda_f}{M}$$

$$= \frac{c_1 (T_f - T_a) + \lambda_f}{M}$$

$$+ \frac{c_2 (T_w - T_f) + \lambda_w}{M}$$

$$\sum_i c_i (T_a - T_w) = c \cdot 1000$$

Vasce H_2O ($20 \times 20 \times 1$)

$$\text{litri: } 2 \cdot 10^2 \times 2 \cdot 10^2 \times 10 = 4 \cdot 10^5 \text{ litri}$$

$$Q = 4 \cdot 10^5 \times 100 = 4 \cdot 10^7 \text{ Kcal}$$

$$= 4 \cdot 10^7 \times 4,185 \text{ KJ} = 16,74 \cdot 10^7 \text{ KJ}$$

$$= \frac{16,74 \cdot 10^7}{3600} \text{ KWh} = 4,65 \cdot 10^4 \text{ KWh}$$

$$= 46.500 \text{ KWh}$$

Energia fornita in 5 minuti, cui corrisponde
la potenza

$$\underline{\underline{P = Q \cdot \frac{60}{5} = \underline{\underline{558.000 \text{ KW} \approx 500 \text{ MW}}}}}$$

$$v = 0.7 \text{ m/s}$$

$$V = 18 \text{ m}^3$$

$$M = \rho V = 144 \text{ kg}$$

$$Q = m \int_{T_1}^{T_2} c_s(T) dT \approx m (c_s \Delta T)$$

$$Q = m (2 + c \Delta T)$$

$$Q = 144 (5.5 + 2 \cdot 10^{-1} \cdot 1.5 \cdot 10^3)$$

$$Q = 144 (5.5 + 3 \cdot 10^2)$$

$$M C_p \Delta T \approx Q \quad \left\{ \begin{array}{l} 1) Q = 144 \cdot 1280 = 184 \text{ KJ} \\ 2) Q = 144 \cdot 3050 = 439 \text{ KJ} \end{array} \right.$$

Nel caso di evaporazione $T = 2800^\circ\text{C}$ $\lambda_e \approx 21 \frac{\text{J}}{\text{M}}$

$$Q = m (\lambda_f + c_s \Delta T_f + c_l \Delta T_{ev} + \lambda_e)$$

$$Q = m Q_1 + (5.5 \cdot 1.3 \cdot 10^3 + \lambda_s) m$$

$$+ 9.3 \cdot 10^3 \cdot 144$$

$$Q_{tot} \approx 4511 \text{ J}$$

$$S = 3 \text{ cm}^2 \quad M = 130 \text{ kJ} \quad D = B \cdot \dots = 4 \cdot 10^6 \text{ V/m}$$

$$I \sim \frac{A^2}{Z_0} \quad A \sim (Z_0 I)^{\frac{1}{2}}$$

$$P_A = \frac{1.7 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-3}} = 4.25 \cdot 10^{10} \text{ W}$$

$$I = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ A}$$

$$A = (Z_0 I)^{\frac{1}{2}} = 2.5 \cdot 10^6 \text{ V/m}$$

1. M. 2. 2.

$$P'_{\text{tot}} = \frac{150 \cdot 10^3}{10^{-6}} = 150 \cdot 10^9 \text{ W}$$

$$P'_{\text{tot}} = 150 \text{ GW}$$

$$P''_{\text{tot}} = \frac{4 \cdot 10^6}{10^{-6}} = 4 \cdot 10^{12} \text{ W}$$

$$P''_{\text{tot}} = 4 \text{ TW}$$

$$\frac{P'}{A} = 1.5 \frac{\text{GW}}{\text{cm}^2}$$

$$P'_{\text{tot}} = \frac{150 \cdot 10^3}{10^{-7}} = 1.5 \cdot 10^6 = 150 \text{ MW} \quad I' = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ A}$$

$$\frac{4 \cdot 10^6}{10^{-3}} = 4 \cdot 10^9 = 4 \text{ GW} \quad I'' = 4.5 \cdot 10^{11} \text{ A}$$

$$P'_{\text{tot}} = 150 \text{ kW} \quad P''_{\text{tot}} = 4 \text{ MW} \quad I' = 4.5 \cdot 10^{11} \text{ A}$$

$$A = 2.5 \cdot 10^6 \text{ V/m} = 8 \cdot 10^{11} \text{ V/m}$$

$$[\text{Cubo di } 1 \text{ m} = 8 \cdot 10^3 \text{ kg}]$$

$$\frac{Q}{M} = 0,149 \times 1530 + 55 + 0,149 \times 920 + 1500$$

$$= 228 + 55 = 283 + 137 + 1500$$

$$\frac{1637}{1920 \text{ Kcal/kg}}$$

$$Q = 1920 \times 8 \cdot 10^3 = 15,360 \cdot 10^6 \text{ Kcal}$$

$$Q = 64,282 \cdot 10^9 \text{ Joule} \approx 64,28 \cdot 10^6 \text{ KJ}$$

$$Q = \frac{64,28 \cdot 10^6}{3600} \approx 18.060 \text{ KWh}$$

Se questa energia è fornita in 2 minuti, corrisponde ad una potenza

$$P = Q \cdot \frac{60}{2} = 540.000 \text{ KW} \approx \underline{\underline{500 \text{ MW}}}$$

Per l'azione della temperatura

Assumendo una massa di volume unitario $\rho = 1$

$$\frac{\lambda}{c\rho} \Delta T = \frac{\partial T}{\partial t}$$

λ = conducibilità
 ρ = densità
 c = calore specifico

diventa

$$\frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{\partial T}{\partial t}$$

La soluzione dipende dalle condizioni al contorno (temperatura in alcuni punti). Si potrebbe considerare alla temperatura del $\ln$ e quindi alla temperatura all'esterno cedente al metallo.

$$E = 2 \text{ MV}$$

$$I = 1 \text{ nA}$$

$$50 \text{ pA} \quad 1 \text{ nV}$$

$$50 \text{ pA} \cdot 1 \text{ nV} = 50 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-9} \text{ W} = 5 \cdot 10^{-20} \text{ W}$$

$$2 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^5$$

3. me. 1/1000 W ~ 6/105
dimensioni dell'energia
e della massa

$$400 \text{ W} \cdot 10^{-10} \text{ s} = 4 \cdot 10^{-8} \text{ J}$$

$$33 \text{ e MeV}$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$400 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

$$10^3 \text{ MeV} = 1.6 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

$$200 \text{ nJ} = 200 \cdot 10^{-9} \text{ J} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ J} = 2 \cdot 10^{-7} / 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ eV} = 2 \cdot 10^{12} \text{ eV}$$

Cioè un fotone dell'ordine di $10^{12} \div 10^{14}$ eV fotoni $\bar{\nu}$

Ferro

$$T_f = 1530$$

$$\lambda_s = 55 \text{ Kcal/kg}$$

$$T_{eb} = 2150$$

$$\lambda_{ev} = 1500 \text{ Kcal/kg}$$

$$0 \leq T \leq 100$$

$$C = 0,118 \text{ Kcal/kg}$$

$$100 \leq T \leq 500$$

$$= 0,134 \text{ "}$$

$$500 \leq T \leq 1100$$

$$= 0,164 \text{ "}$$

media :

$$\bar{c} = 0,149 \text{ Kcal/kg}$$

$$C_{rel} \approx C_{eq.}$$

$$\rho = 7,87 \text{ kg/dm}^3$$

$$\lambda_s \bar{c} = 8,54 \text{ Kcal/kg}$$

Pr: insieme delle derivate seconde

Assumendo una simmetria in cilindrica

$$\frac{\lambda}{c\rho} \Delta T = \frac{\partial T}{\partial t}$$

con T = temperatura
 ρ = densità
 c = calore specifico

diventa

$$\frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{\partial T}{\partial t}$$

La soluzione dipende dalle condizioni al contorno (temperatura in alcuni punti). Si potrebbe anche risalire alla temperatura del filo e quindi alla energia elettromagnetica ceduta al metallo.



Fig. 1

Piastra n. 2 fronte

PO

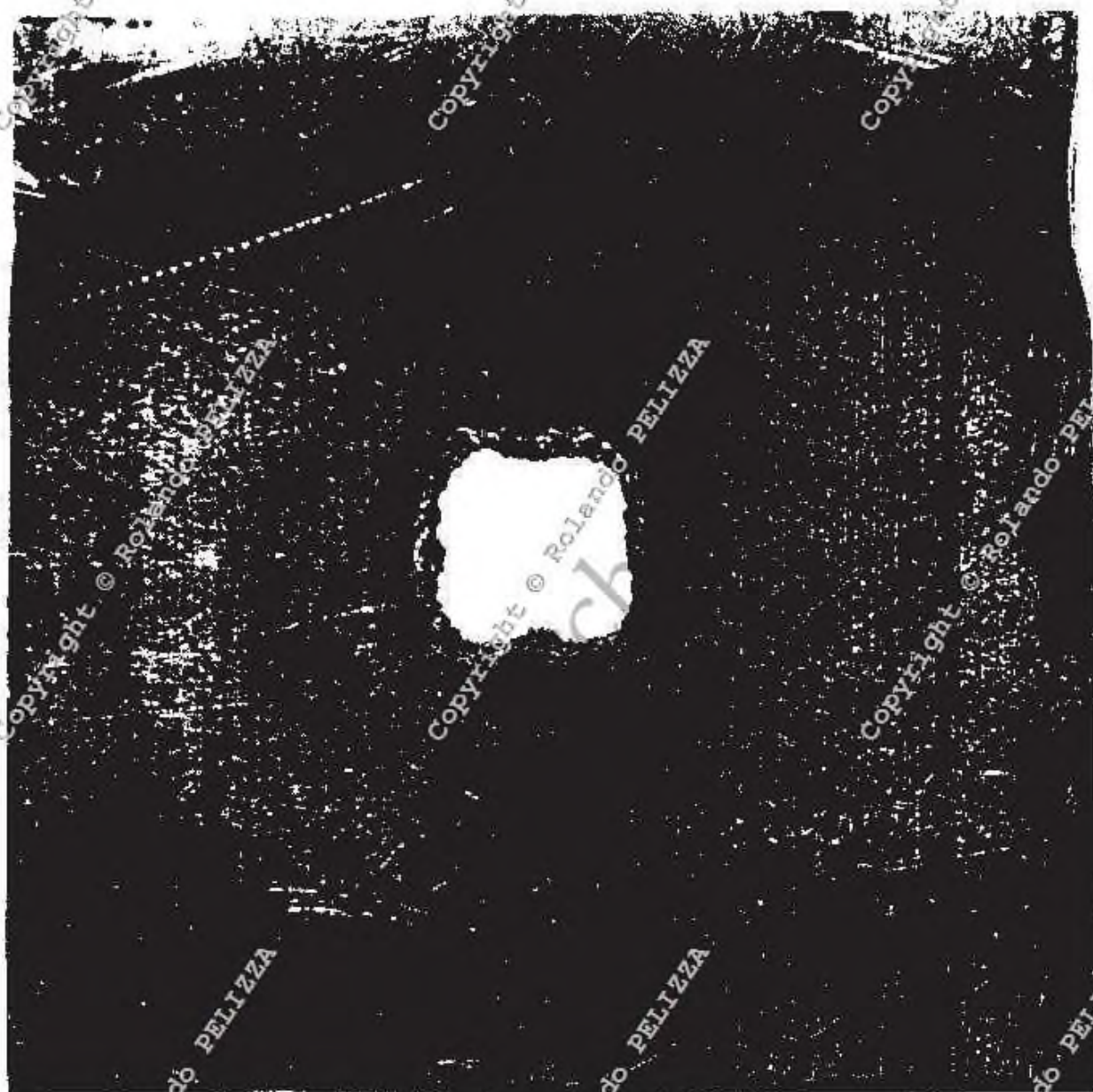


Fig. 2

Piastra n. 2 retro

Rv

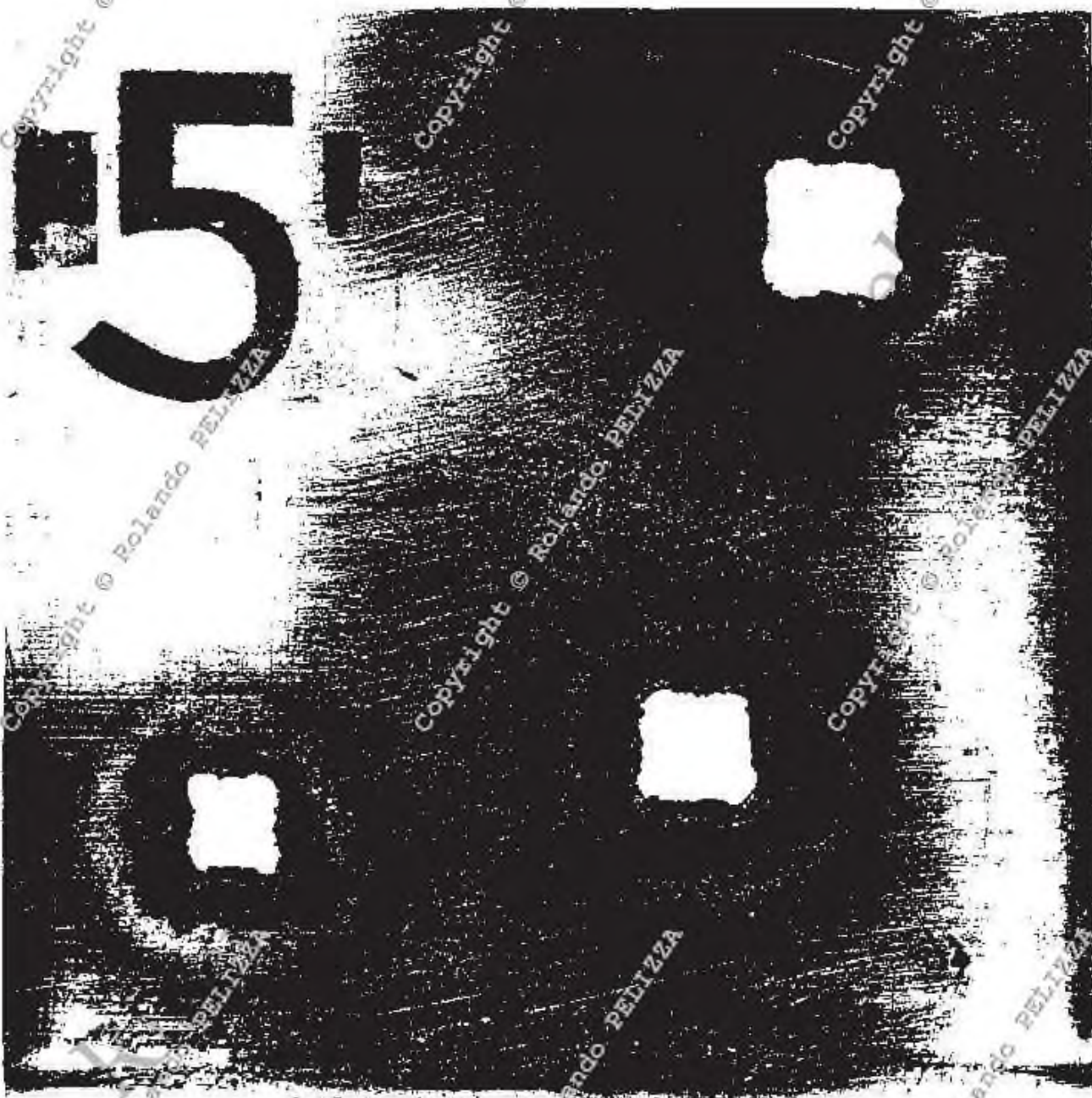


Fig. 3

Piastra n. 5 fronte

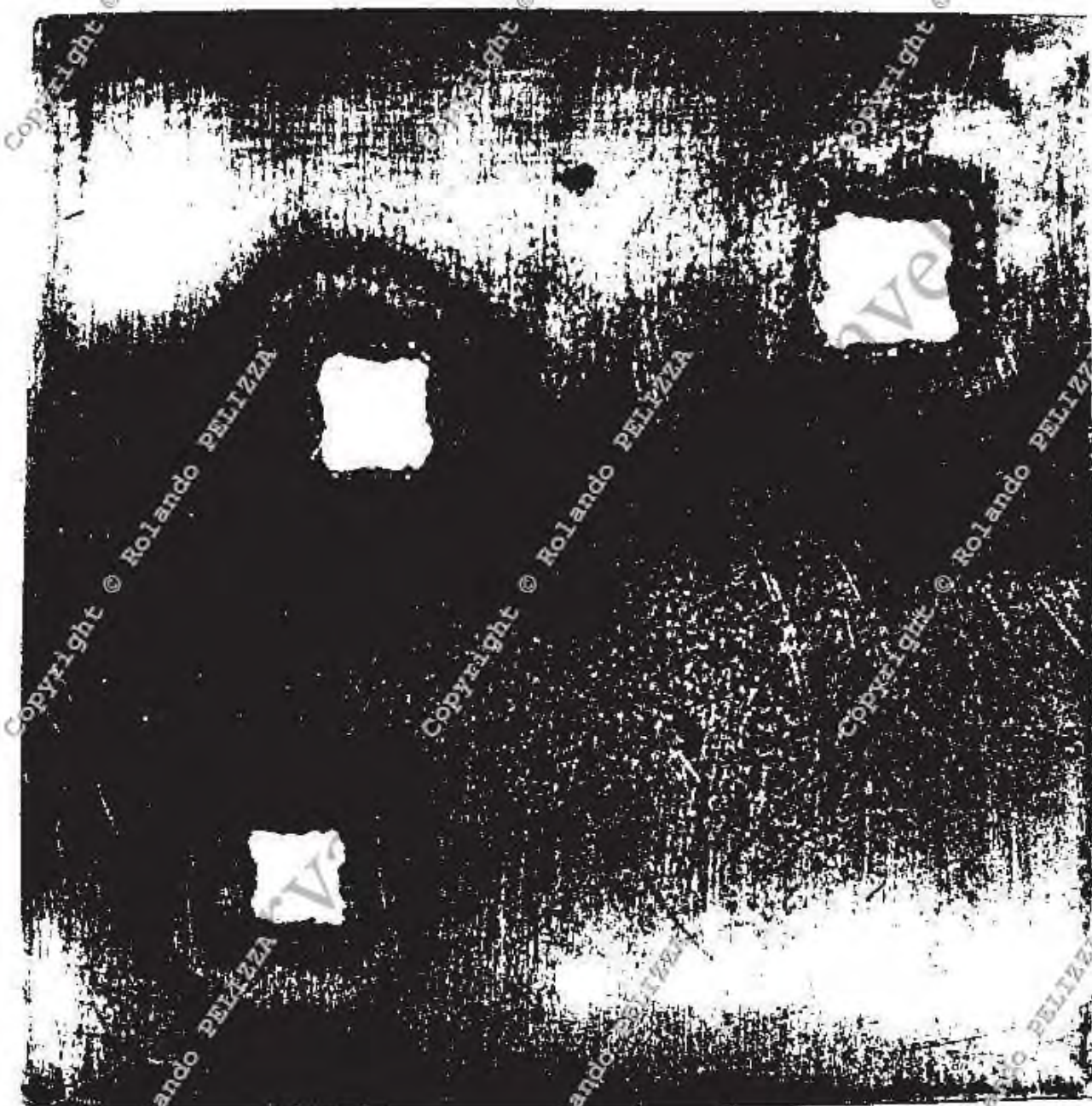


Fig. 4

Piastra n. 5 retro

PC
Copyright © Rolando PELIZZA

Copyright © Rolando PELIZZA

Copyright © Rolando PELIZZA

Copyright © Rolando PELIZZA

Copyright © Rolando PELIZZA

Copyright © Rolando PELIZZA



Fig. 5

Piastra n. 2 superficie interna del foro

© Rolando PELIZZA

© Rolando PELIZZA

© Rolando PELIZZA



Fig. 6

Piastra n. 2 fronte;
particolare del foro

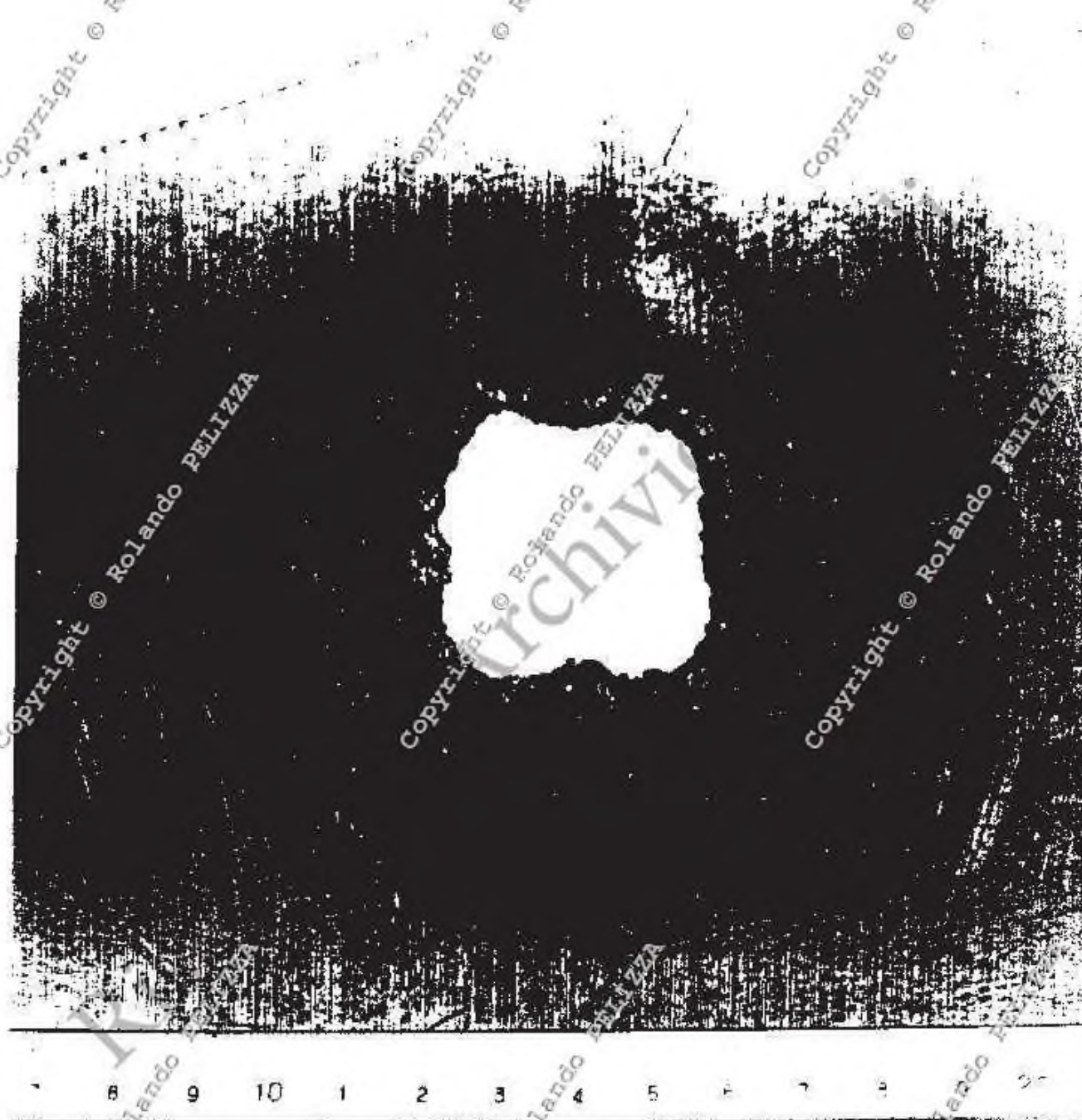


Fig. 7
Piastra n. 2 retro;
particolare del foro

Pv

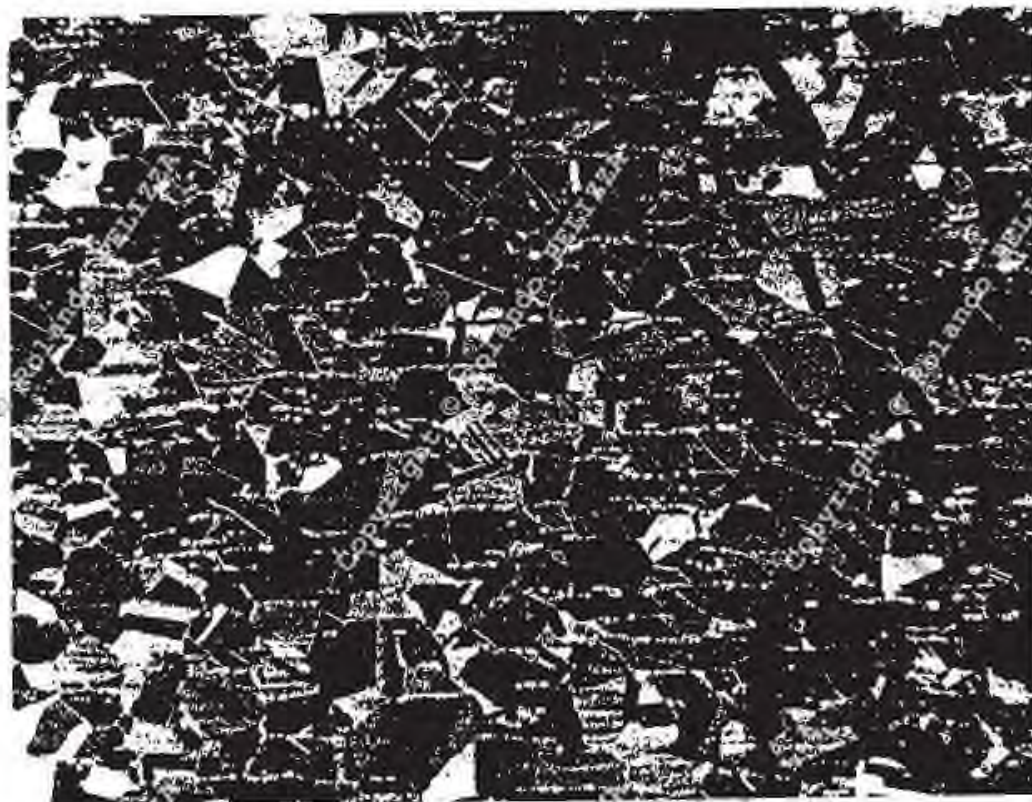


Fig. 8 - Luce polarizzata 150 X
Struttura originaria

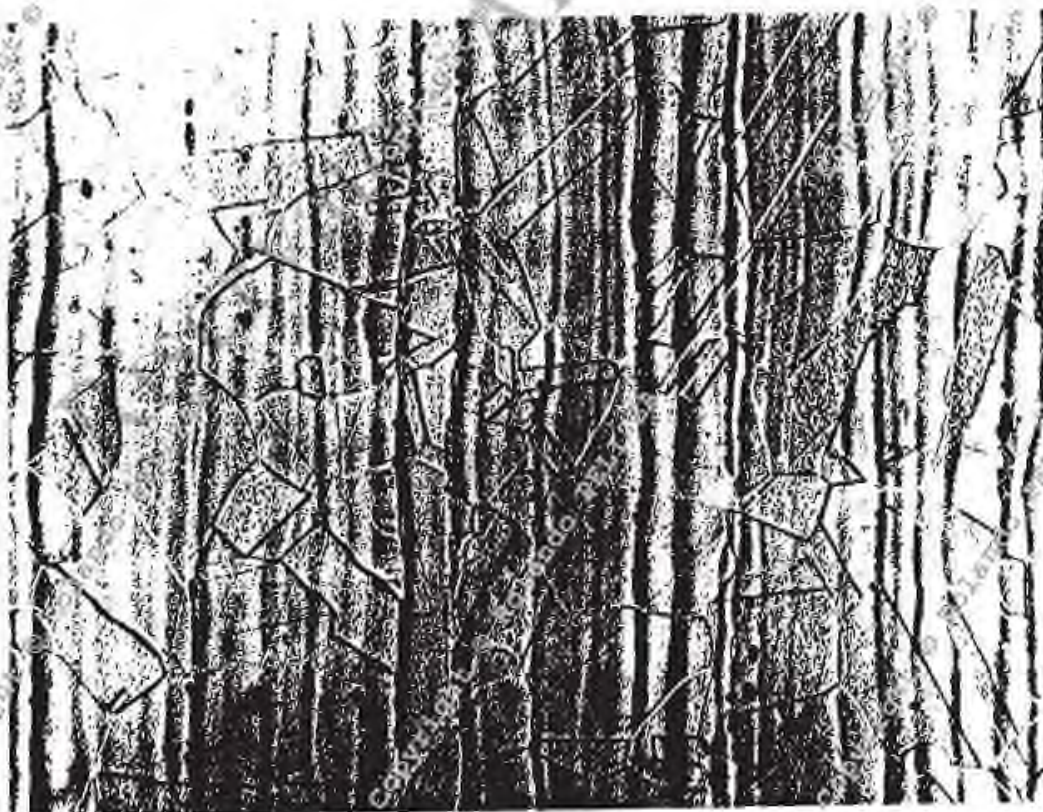


Fig. 9 - Luce ordinaria 450 X
Struttura originaria

P₂



Fig. 10 - Luce ordinaria 450 X

Struttura all'interfaccia metallo-goccia fusa



Fig. 11 - Luce ordinaria 450 X

Struttura zona termicamente alterata (precipitazione di carburi)

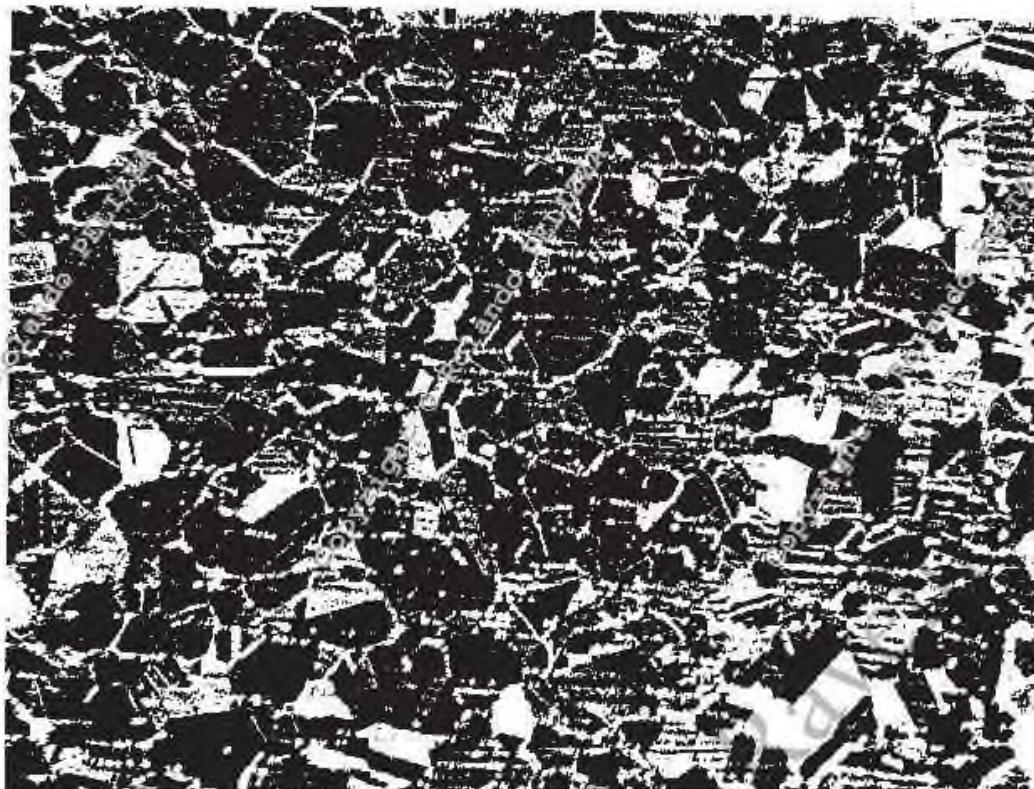


Fig. 12 - 450 X

Struttura zona termicamente alterata (carburi ai bordi dei grani)



Fig. 13 - 3200 X

Superficie interna al foro

PV



Fig. 14 - 4500 X
Superficie interna al foro



Fig. 15 - 3200 X
Superficie interna al foro

P₀

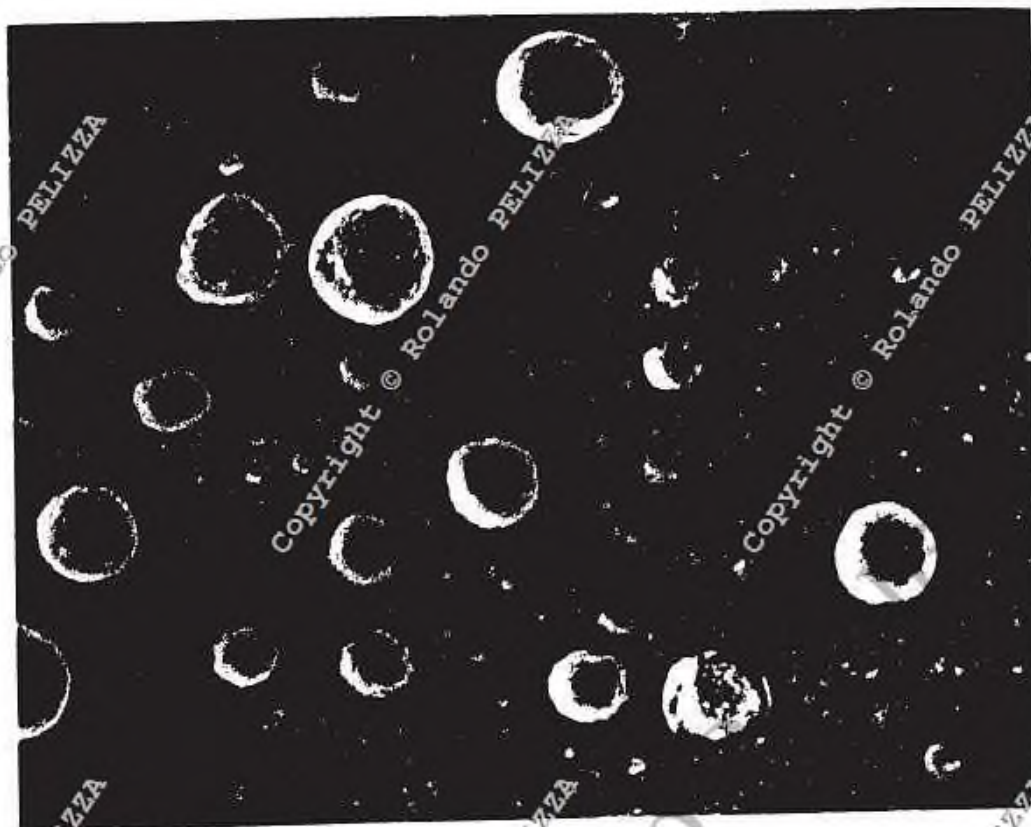


Fig. 16 - 500 X
Superficie ossidata vicino al foro



Fig. 17 - 1500 X
Superficie ossidata vicino al foro

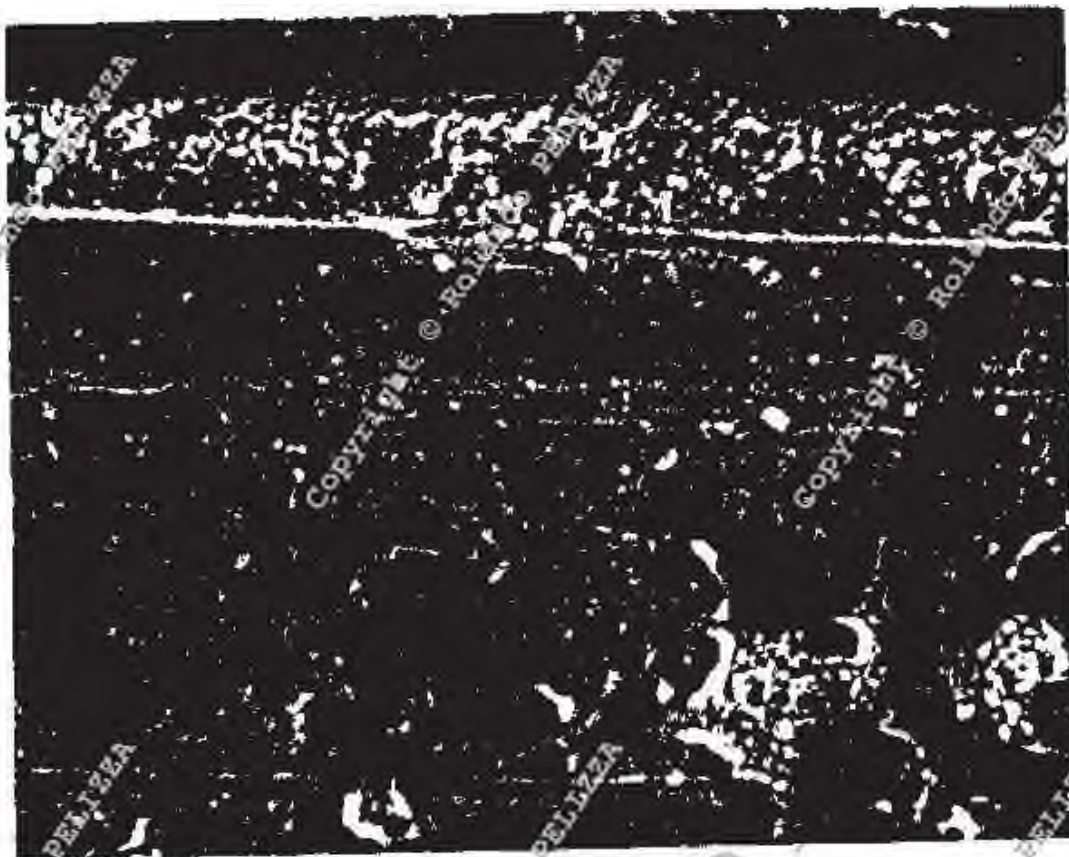


Fig. 18 - 1000 X
Superficie ossidata vicino al foro

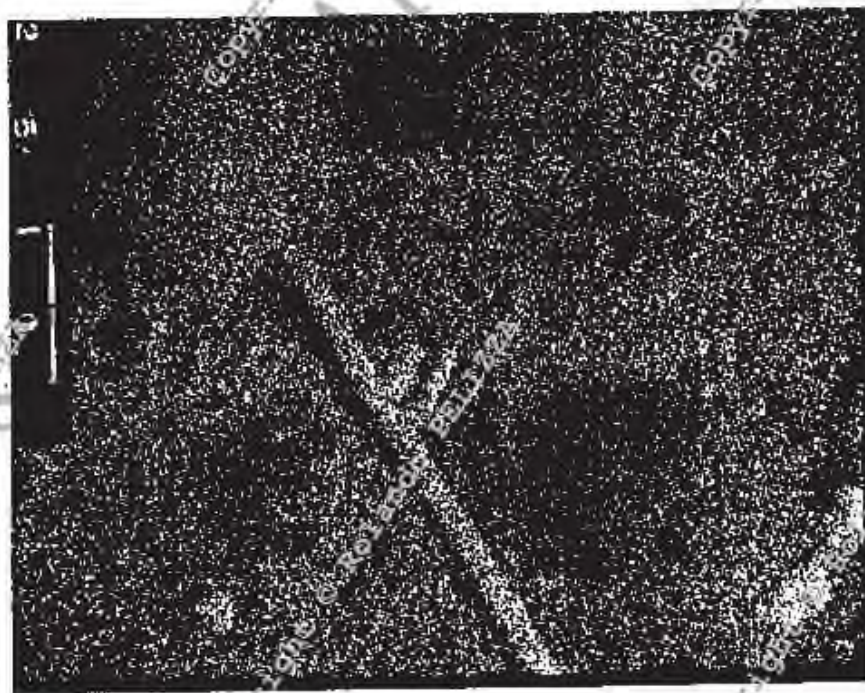


Fig. 19 - 1000 X
Distribuzione topografica dell'Alluminio