

3- Il vetro: la forza fragile del non-equilibrio.

- I vetri di origine naturale

 - Principali tipi

 - Naturale - vs - artificiale

- I vetri artificiali

 - Componenti

 - Degrado

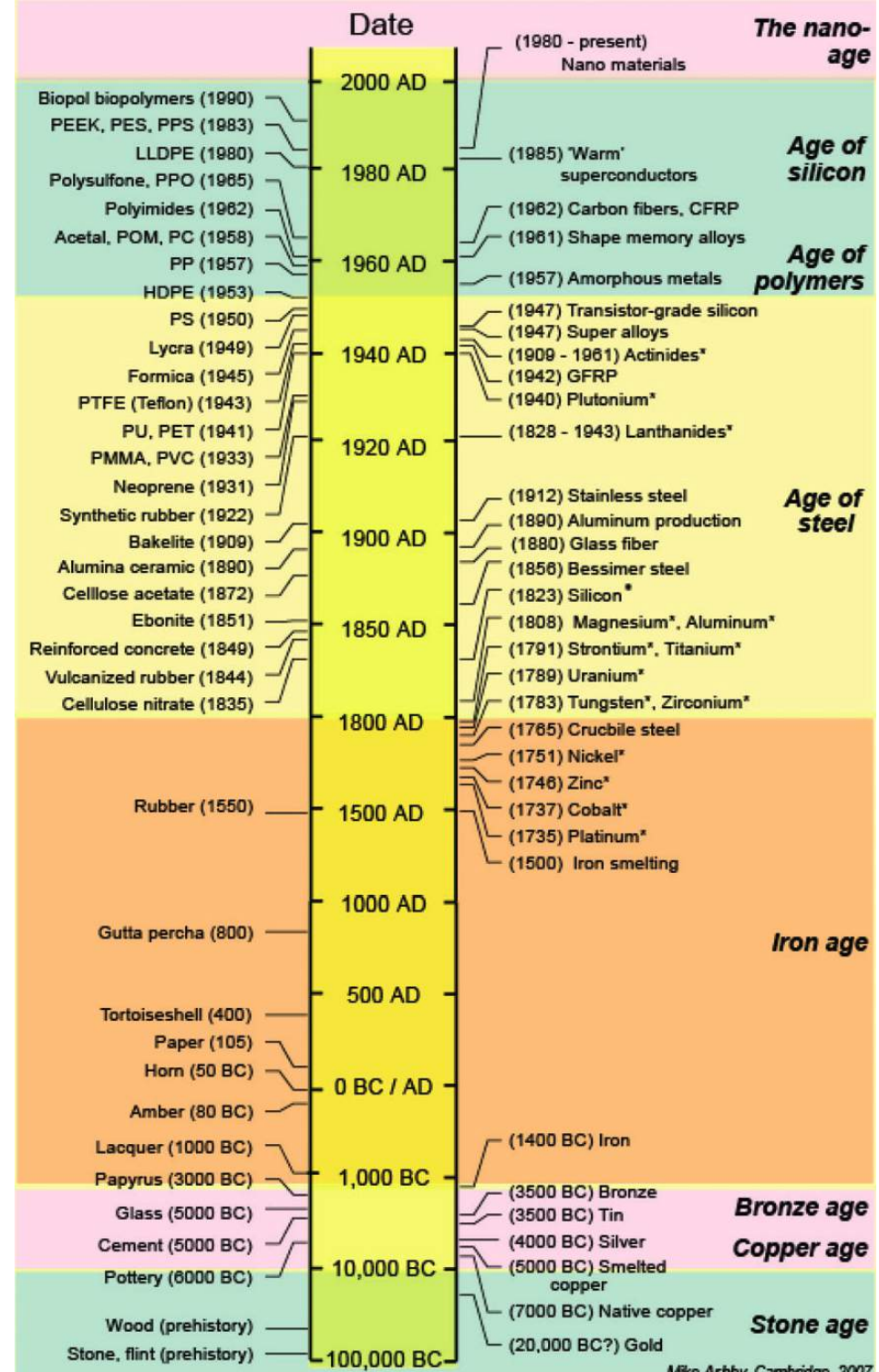
 - Materie prime

 - Tecnologie produttive

 - Prodotti

 - Viscosità

 - Sviluppi recenti



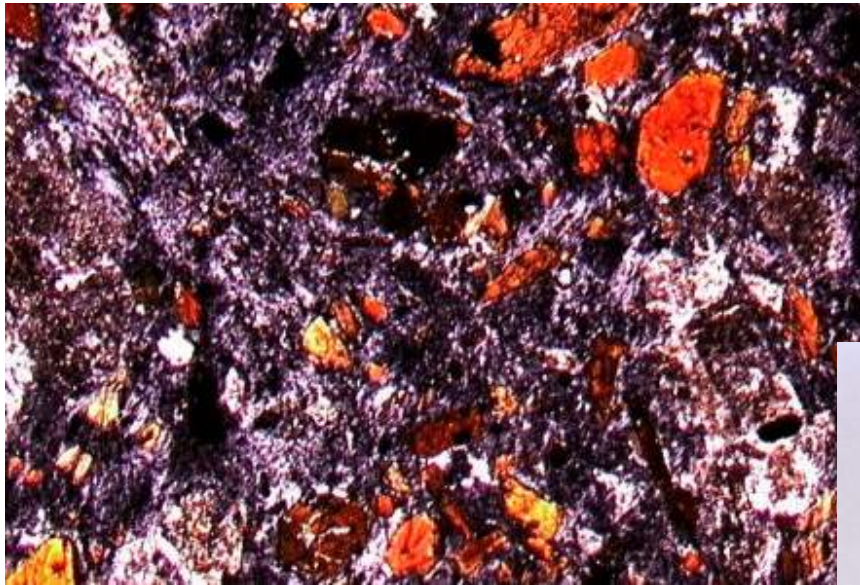
Mike Ashby, Cambridge, 2007

Tipi

- **Vetri di formazione magmatica:**

si formano a partire da rocce fuse, prevalentemente silicatiche, emesse nel corso di eventi vulcanici.

Velocità di raffreddamento stimate: da pochi gradi (°C) al minuto a pochi gradi al mese.



Porfido



Ossidiana



Tipi

- Vetri di formazione magmatica: ossidiana

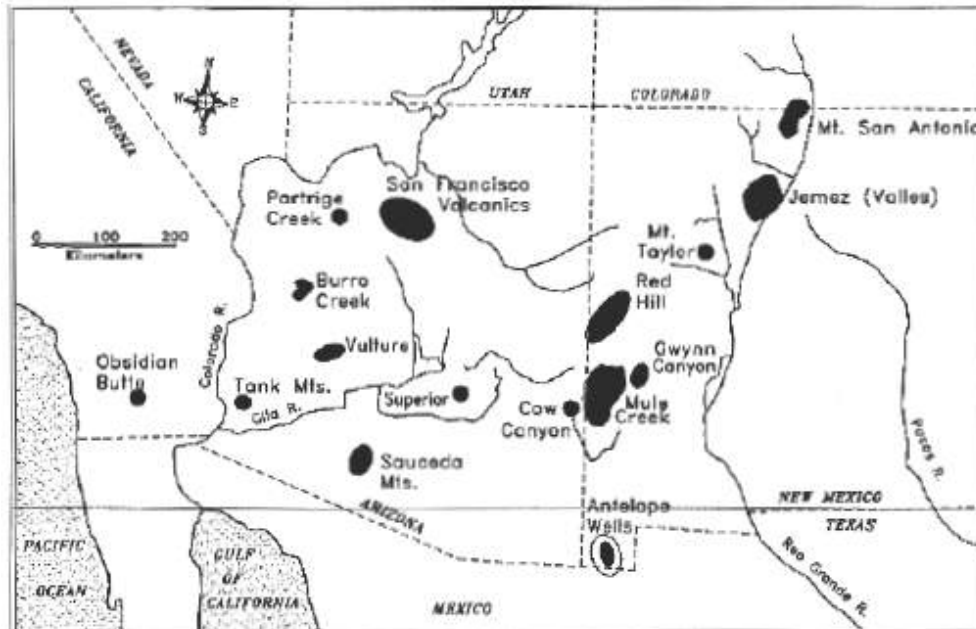
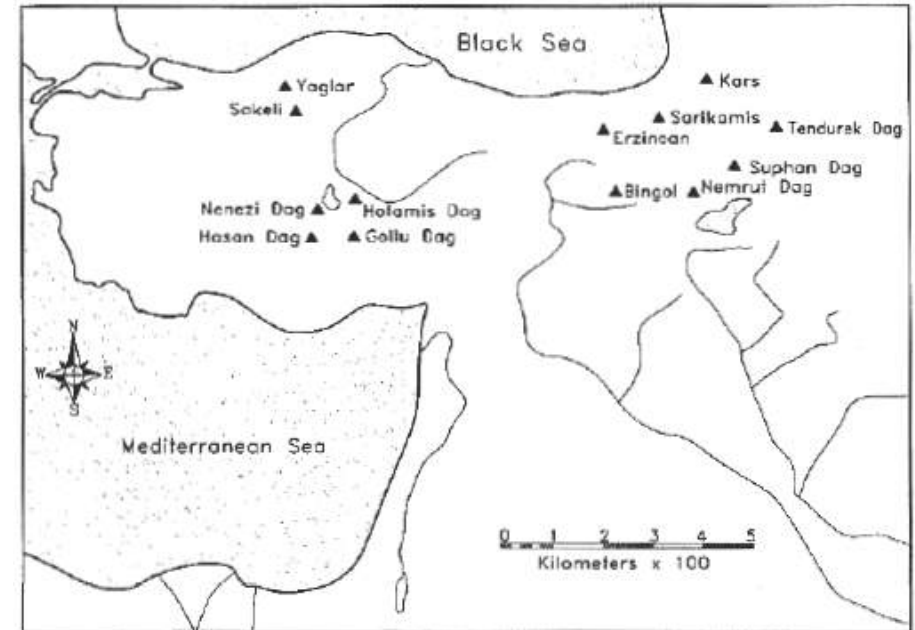
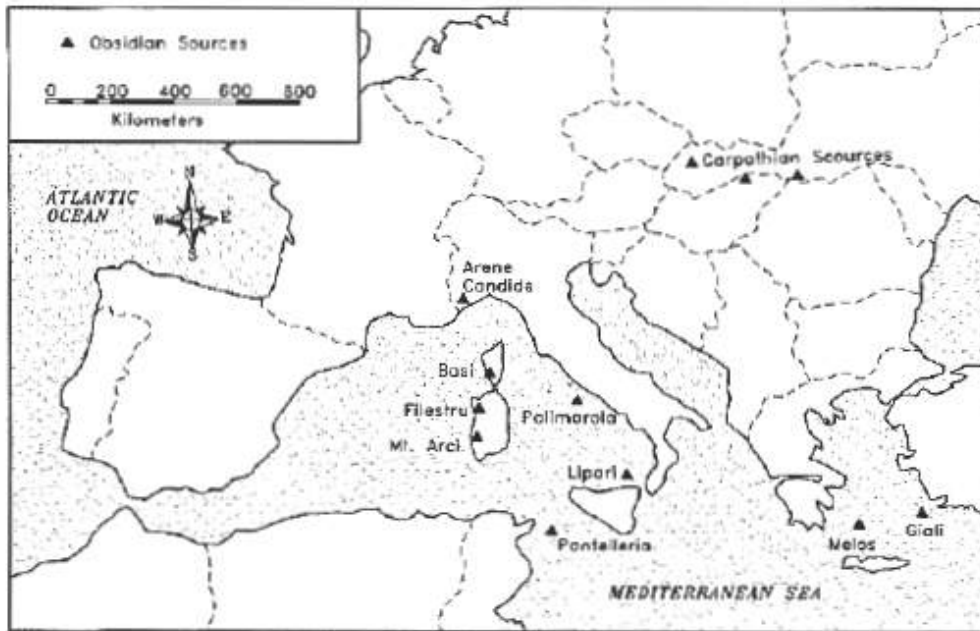


- **Colorazione:**

- tipicamente nera; anche grigia, marrone, rossa e verde.

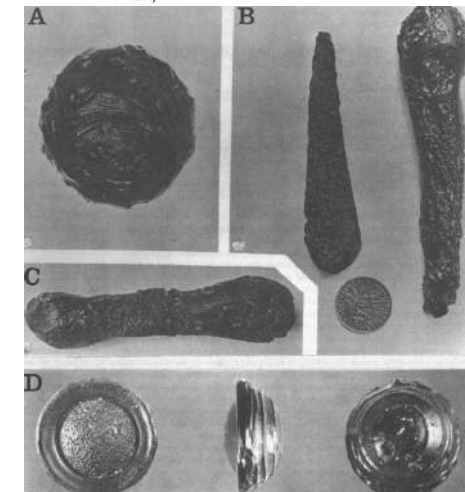
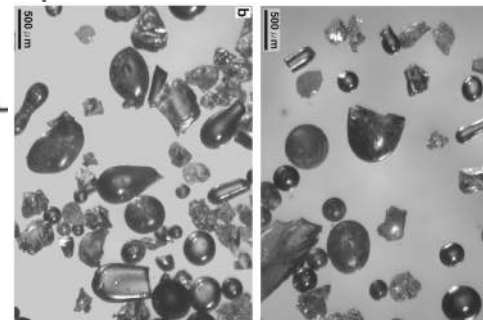
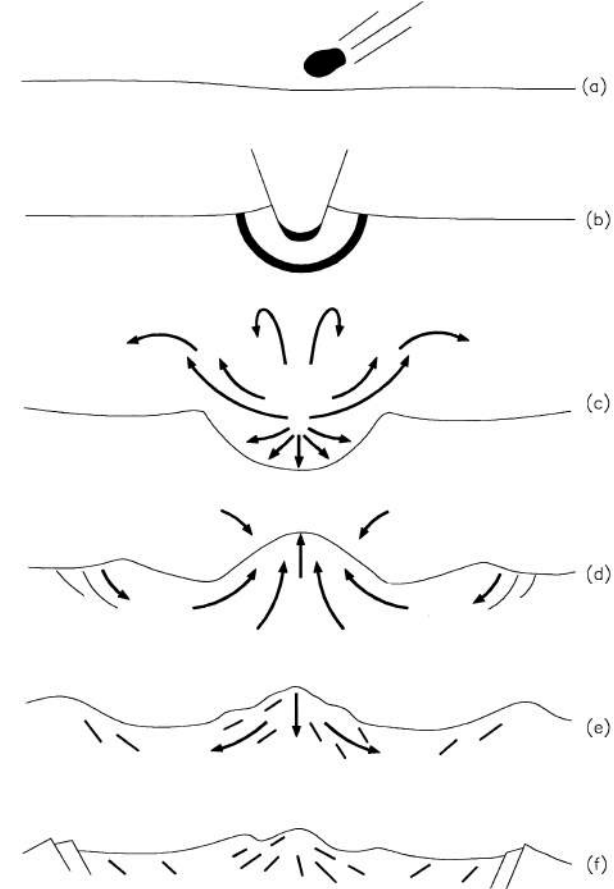
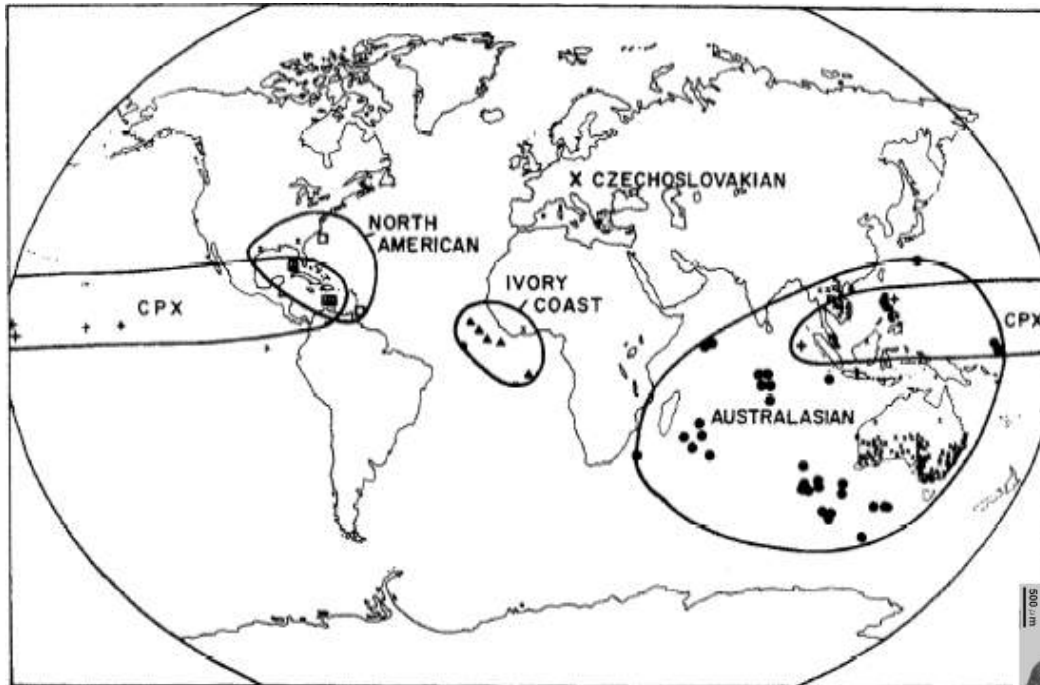


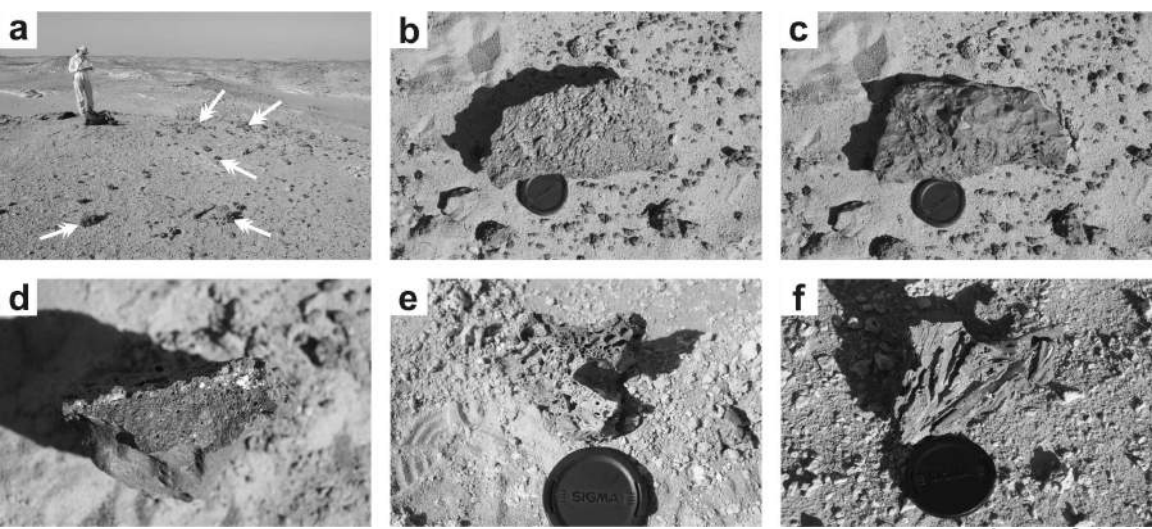
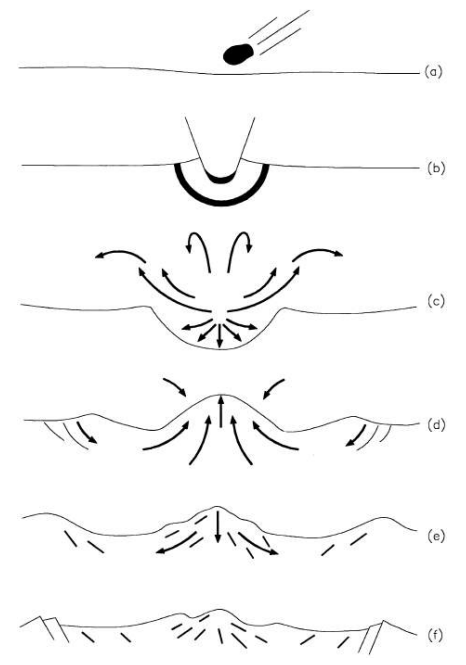
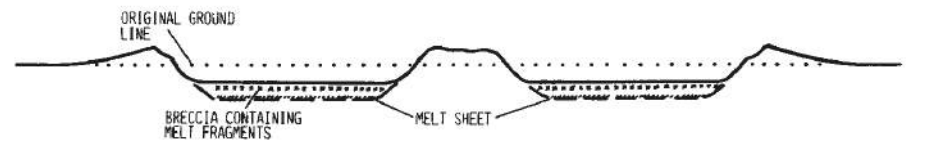
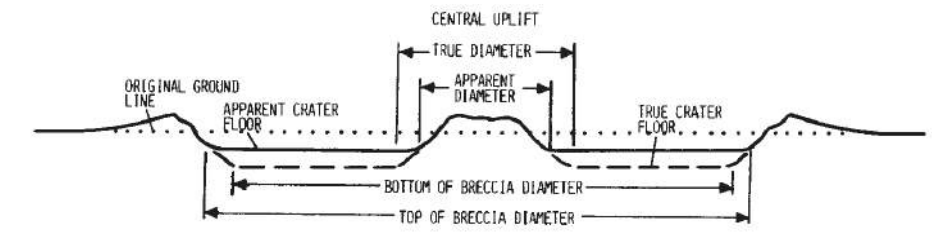
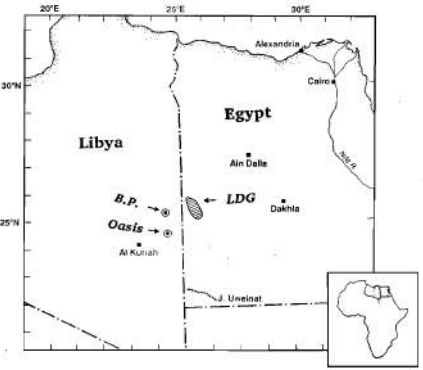
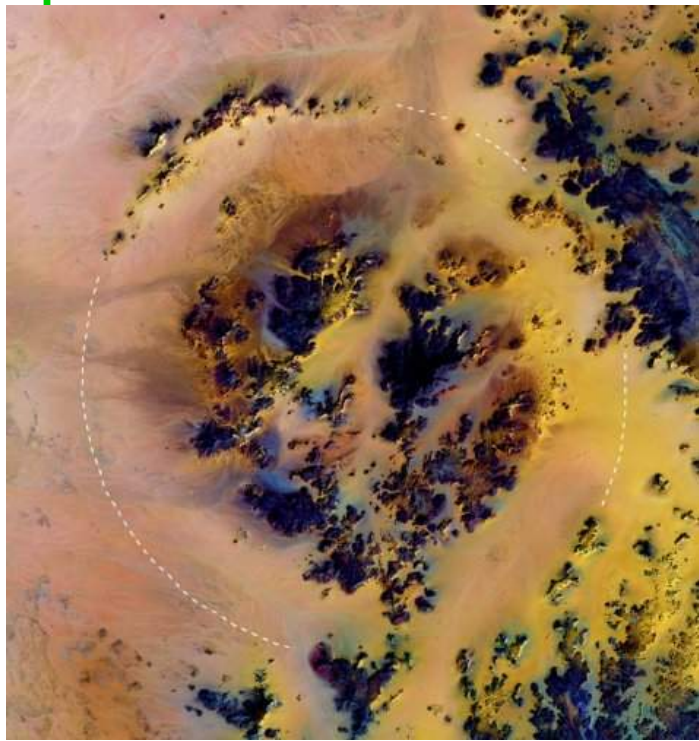
Tipi • Vetri di formazione magmatica: ossidiana



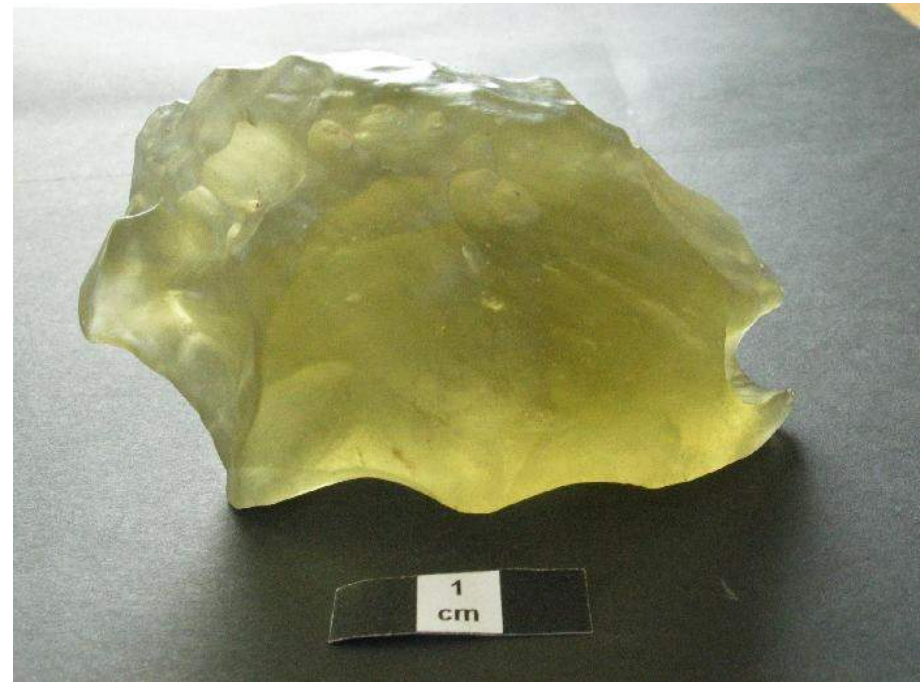
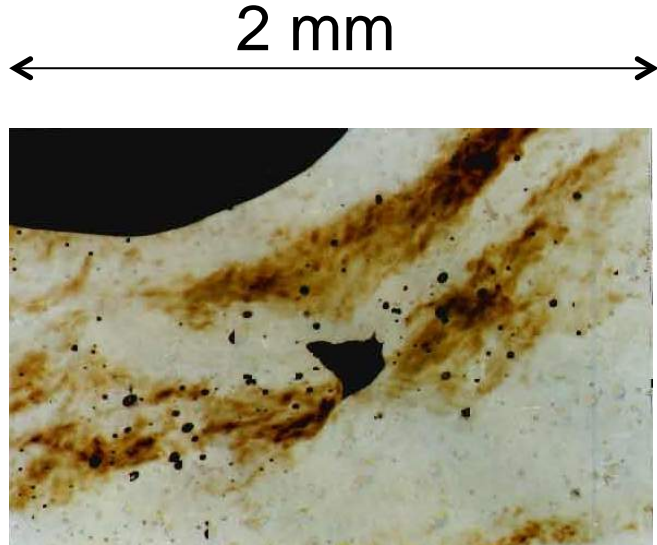
Main obsidian deposits in:
Europe
Anatolia
SW-USA

- **Vetri di formazione metamorfica:**
 si formano a seguito di fenomeni di fusione e di solidificazione estremamente rapidi (pochi gradi al secondo) a che avvengono a causa di:
 - impatti meteoritici (**impattiti e tectiti**)
 - cadute di fulmini al suolo (**folgoriti**).





Vetro del deserto libico - Lybian desert glass (LDG) (impattite)
 Meteoritics & Planetary Science 43, Nr 12, 2089—2107 (2008)



Libyan Desert Glass

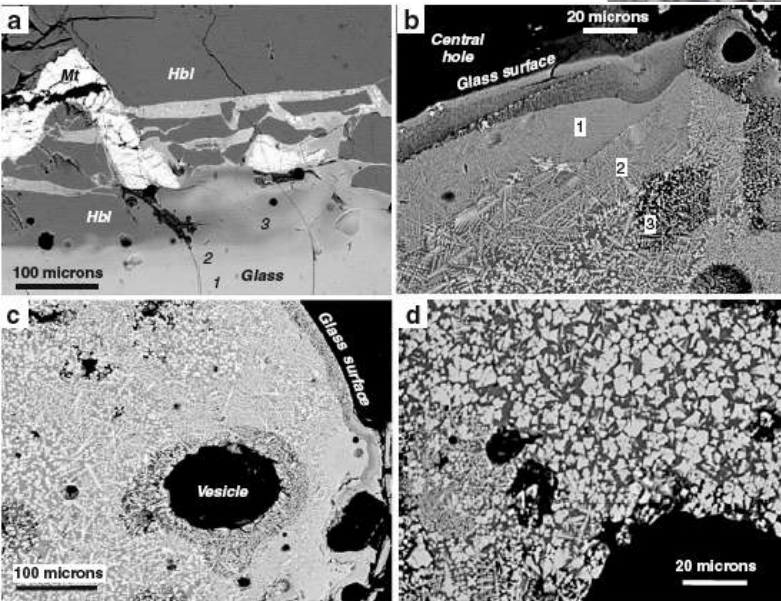
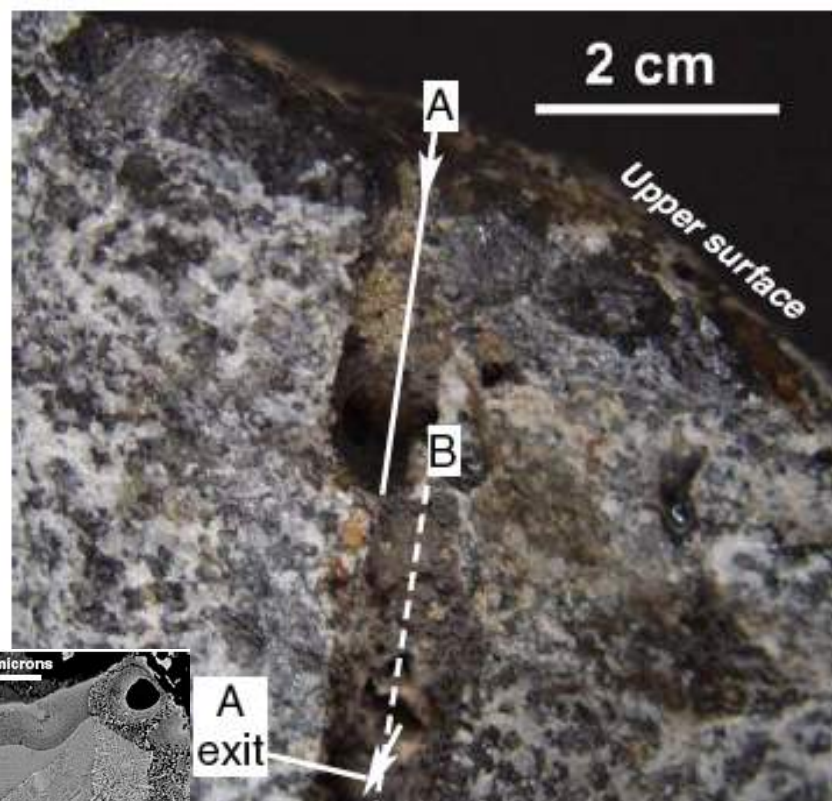
Surface Sand

	Average	Std.dev.	Min.	Max.	S-1	S-2	S-3
SiO ₂	98.37	0.89	96.59	99.26	86.81	98.25	65.59
TiO ₂	0.12	0.06	0.05	0.24	0.34	0.03	0.20
Al ₂ O ₃	1.19	0.69	0.54	2.58	3.29	0.09	3.03
FeO	0.12	0.09	0.05	0.39	1.43	0.10	23.58
MgO	0.011	0.002	0.008	0.015	0.22	0.02	0.15
CaO	0.01	0.00	0.01	0.02	1.95	0.07	1.35
Na ₂ O	0.005	0.001	0.003	0.007	0.10	0.05	0.02
K ₂ O	0.009	0.003	0.006	0.014	0.40	0.23	0.21
P ₂ O ₅	0.01	0.005	0.005	0.012	0.05	0.02	0.010
L.O.I.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3.85	0.19	5.24
Total	99.85				98.44	99.04	99.46

Koeberl C, Libyan Desert Glass: geochemical composition and origin, Proc. of the "Silica '96 - Meeting" - (1997)



- Folgoriti di sabbia
- Folgoriti di roccia



Ironstone fulgurite tubes. Blue Mountains, Australia

R. H. Grapes & H. Myller-Sigmund, Lightning-strike fusion of gabbro and formation of magnetite-bearing fulgurite, Cornone di Blumone, Adamello, Western Alps, Italy, *Miner Petrol* (2010) 99:67–74

Tipi

- **Vetri di Origine sedimentaria:**

si formano a partire da sistemi colloidali contenenti silica, per un processo di evaporazione/essiccamento della parte volatile, generalmente a base di acqua.

Tipico esempio: l' opale.

Possono essere anche di origine naturale, come ad esempio le spugne.

Tempi di formazione: da vari anni a migliaia di anni

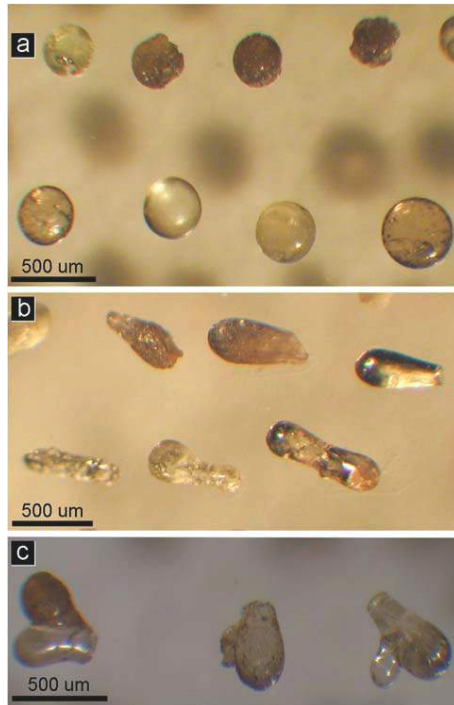


Opale



Euplectella aspergillum

Vetro



Glass	SiO ₂	B ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Obsidian	74.6		4.0	4.7	0.8	0.08	14.2	1.1
Australite	70.4		1.6	2.5	2.9	2.2	14.3	5.0
Lunar glass	54.5		0.1	<0.1	0.2	23.0	0.1	21.4
Egypt (1500 BC)	67.8		16.1	2.1	3.8	2.9	3.2	0.9
Italy (9000 BC)	77.8		6.4	8.7	2.1	0.7	2.2	0.8
Container glass	67–70		13–18	6–7	6–8	0–1	3–4	0–1
Glazing	71–73		13–15.5	0–1	6.5–12	2–4.5	0–2	
Glass wool	65	4.5	17	1	8	2.5	2	
Nonex	73	16.5	4.2					
Pyrex	80.5	12.9	3.8	0.4			2.2	
E glass (ALS)	54	10.0			17.5	4.5	14.0	
S glass	65					10.0	25.0	

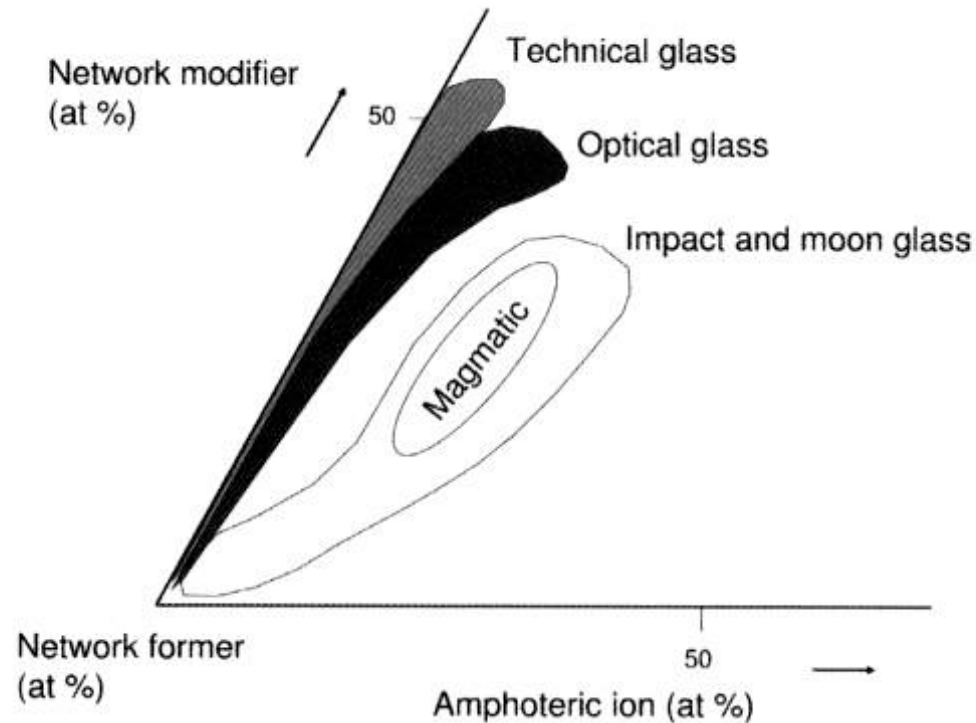
	1	2	3	4	5
SiO ₂	97,5	73,9	70,7	70,5	53,3
Al ₂ O ₃	1,5	12,4	20,5	11,5	20,7
Fe ₂ O ₃	—	1,6	—	1,2	0,1
FeO	0,2	0,6	1,0	0,2	4,8
MgO	—	0,3	0,1	0,3	1,8
CaO	0,4	0,3	0,8	1,7	3,2
Na ₂ O	0,3	3,5	3,5	3,5	9,1
K ₂ O	—	5,4	3,4	1,5	5,8
H ₂ O	0,1	1,7	—	9,6	0,7
TiO ₂	—	—	—	—	0,5
P ₂ O ₅	—	—	—	—	0,3

1) Fulgurite, Libia. 2) Ossidiana, Messico. 3) Tectite, Perù. 4) Riolite, Australia. 5) Ossidiana, Vesuvio.

Naturali - vs - Artificiali

	TIPO DI VETRO	formatore di reticolo		fondenti		stabilizzanti		coloranti	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	MnO	FeO e/o Fe ₂ O ₃
vetri naturali	ossidiana	53-75	12-21	4-9	4-6	0.3-3	0-2	0-0.7	0.1-5
	tectiti	66-86	4-21	0-4	1-3	0-16	0-10	0-0,1	0-7
	impattiti	50-93	3-37	0.3-9	0,5-12	0-10	0-5	0-1	0-14
	vetro del deserto libico	97-98	0-1	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce
	folgoriti	44-98	2-10	0,3-2	0-0.4	0-10	0-14	0-0.4	0.2-13

Naturali - vs - Artificiali



$\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$ nei vetri naturali

$\text{Al}_2\text{O}_3 < \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$ nei vetri artificiali

Componenti

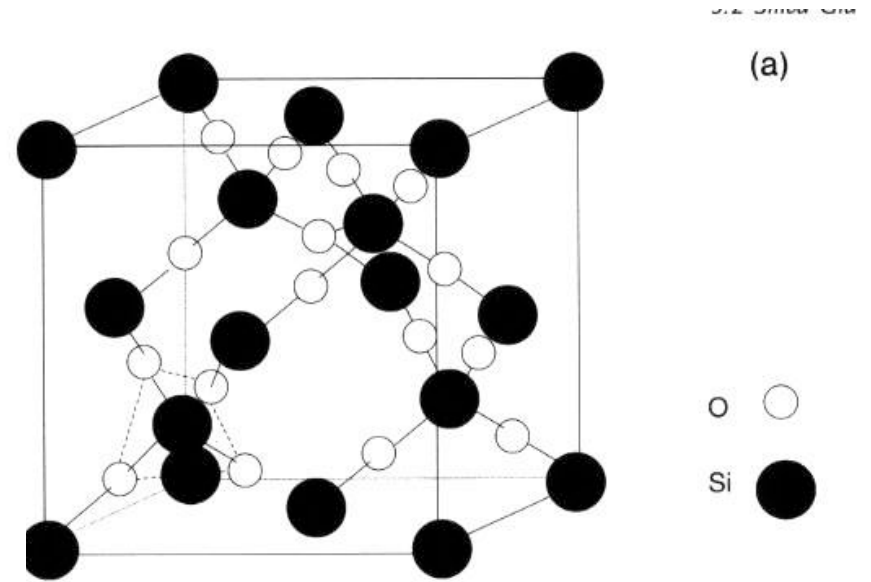
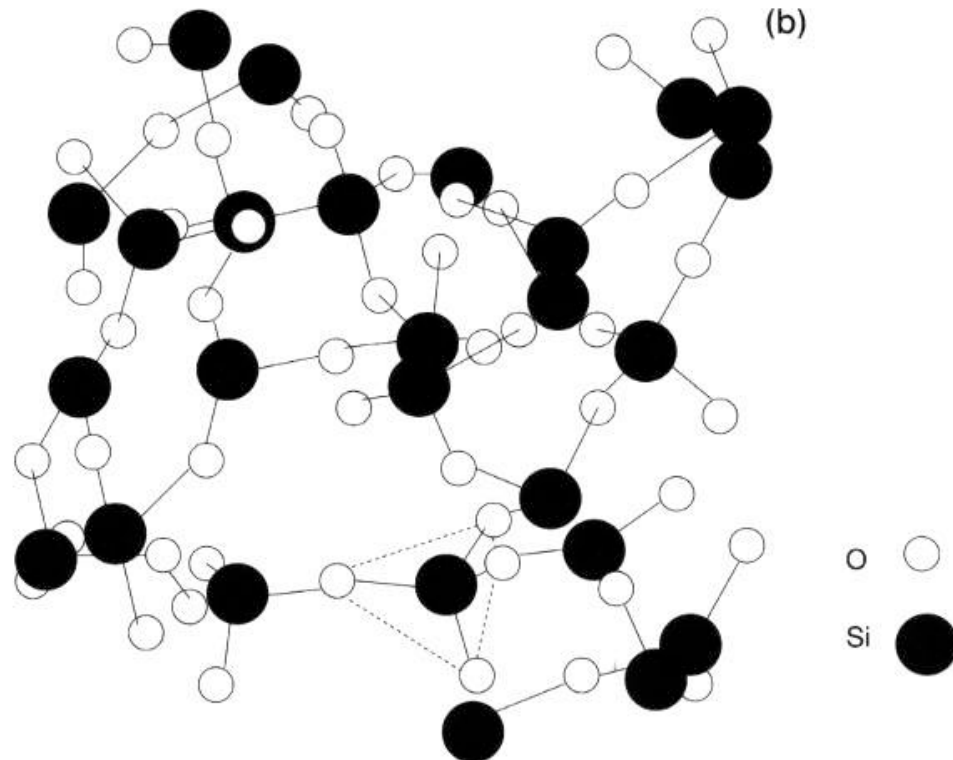
Sostanze vetrogene o **formatrici** del "reticolo":

Ossido di silicio: SiO_2

Anidride borica: B_2O_3

Anidride fosforica: P_2O_5

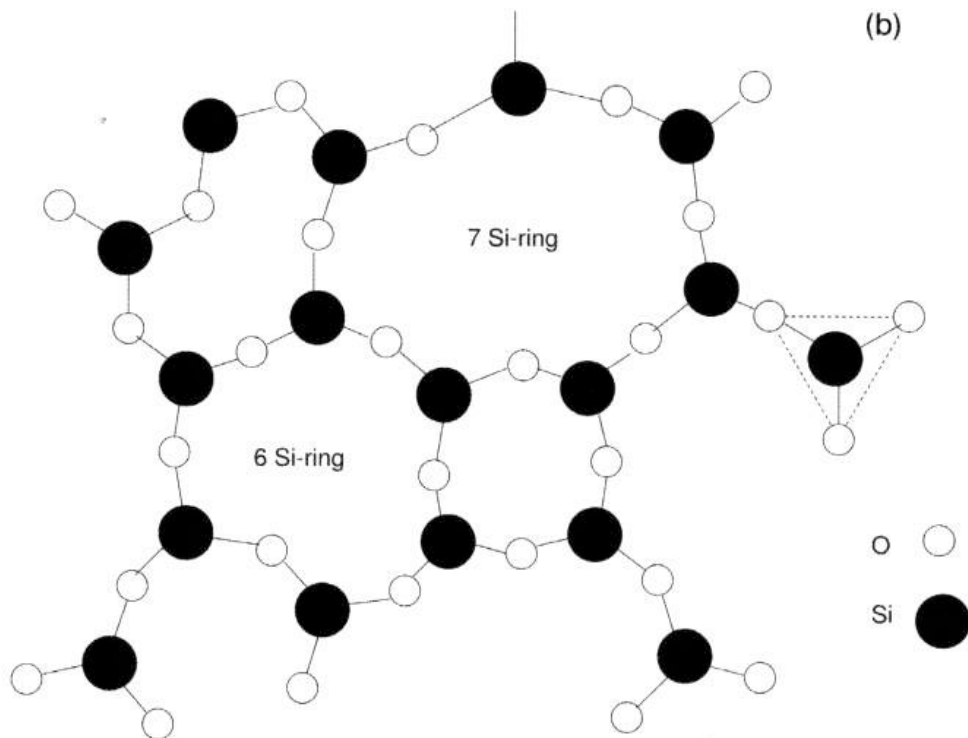
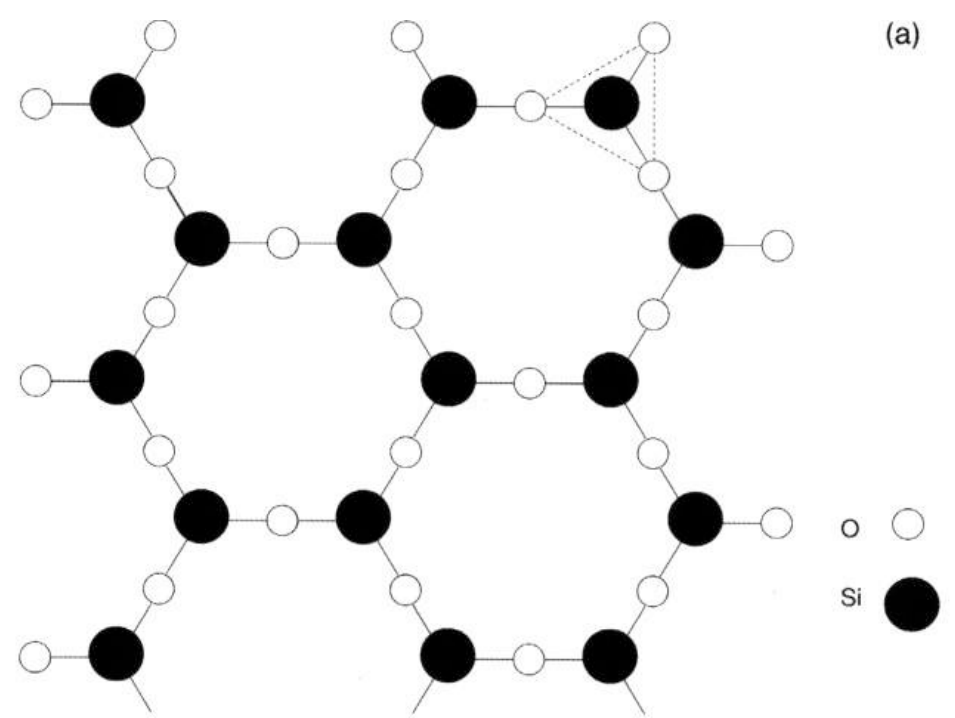
Allumina: Al_2O_3



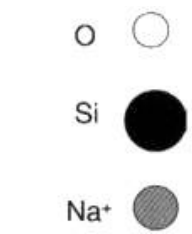
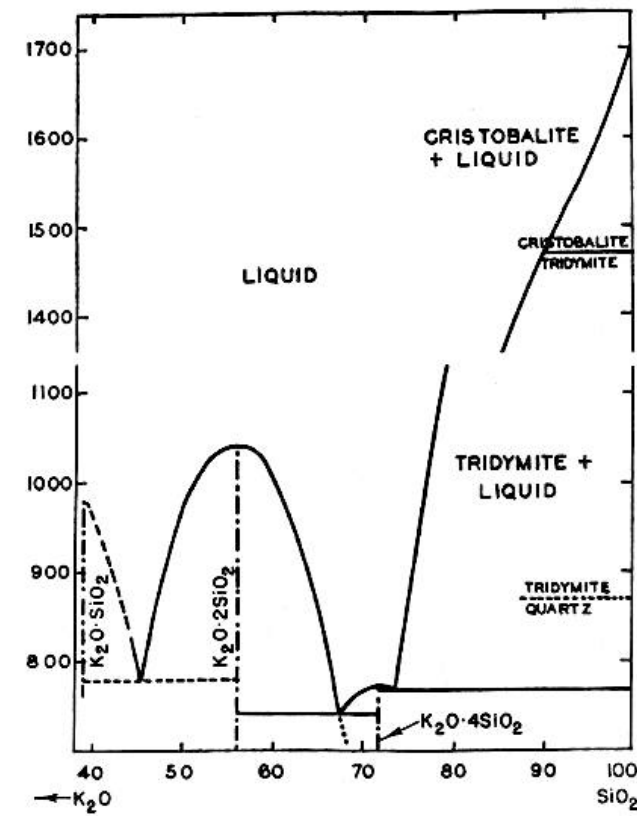
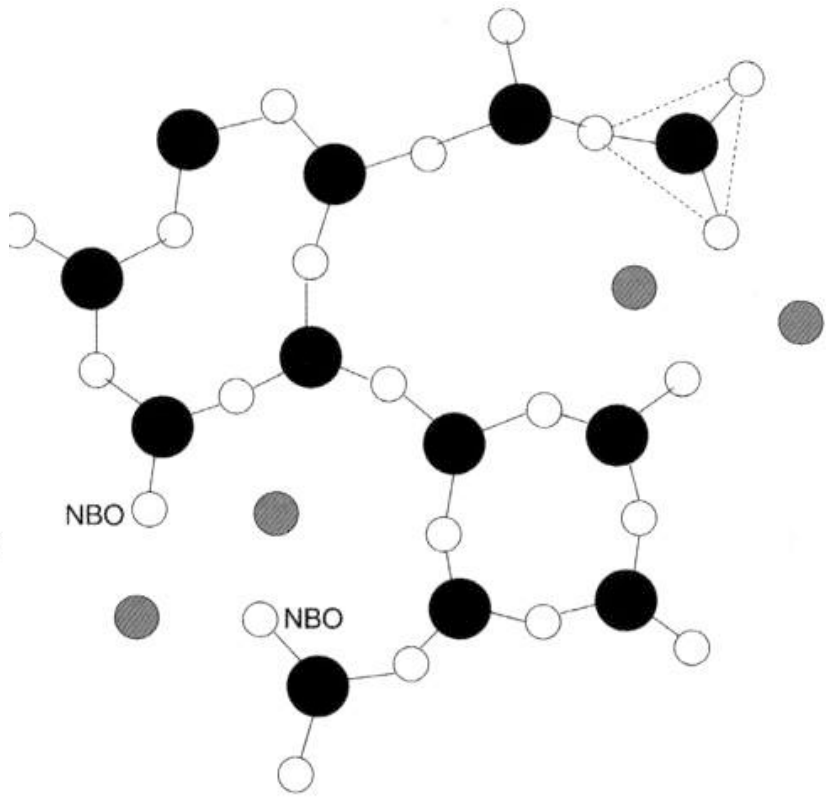
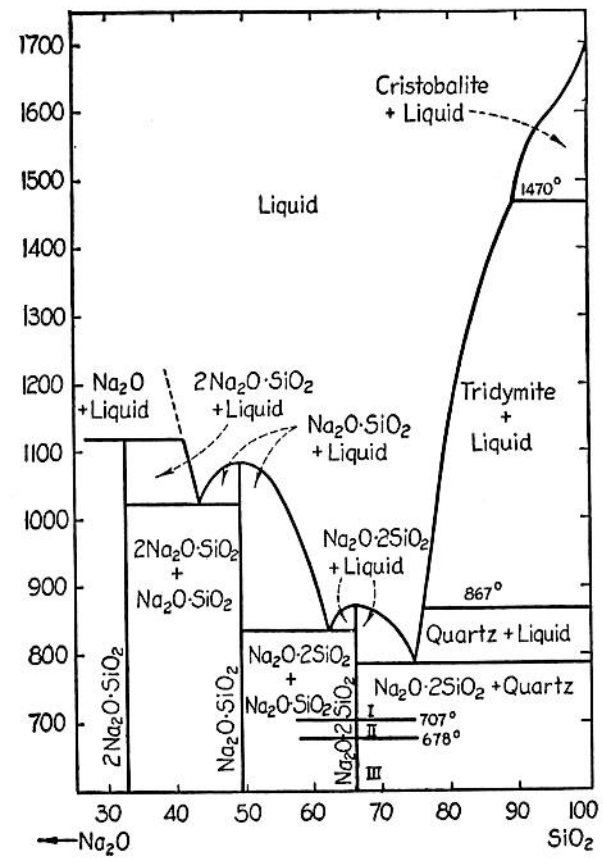
Quarzo

Vetro di silice

Componenti



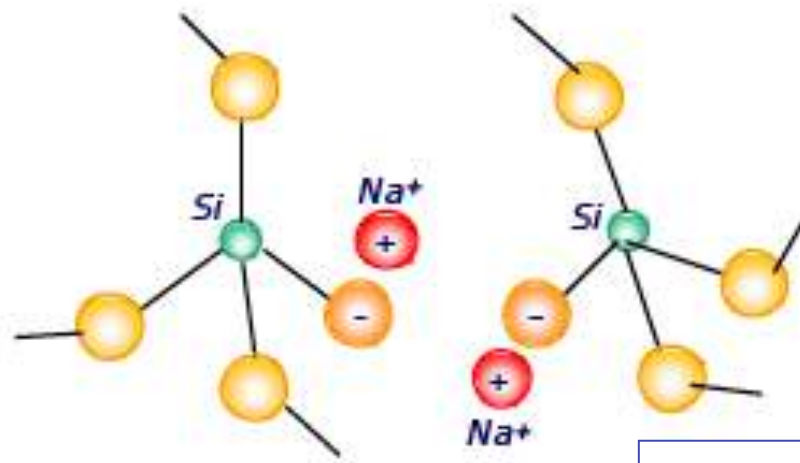
Componenti



Modificatori di "reticolo": fondenti

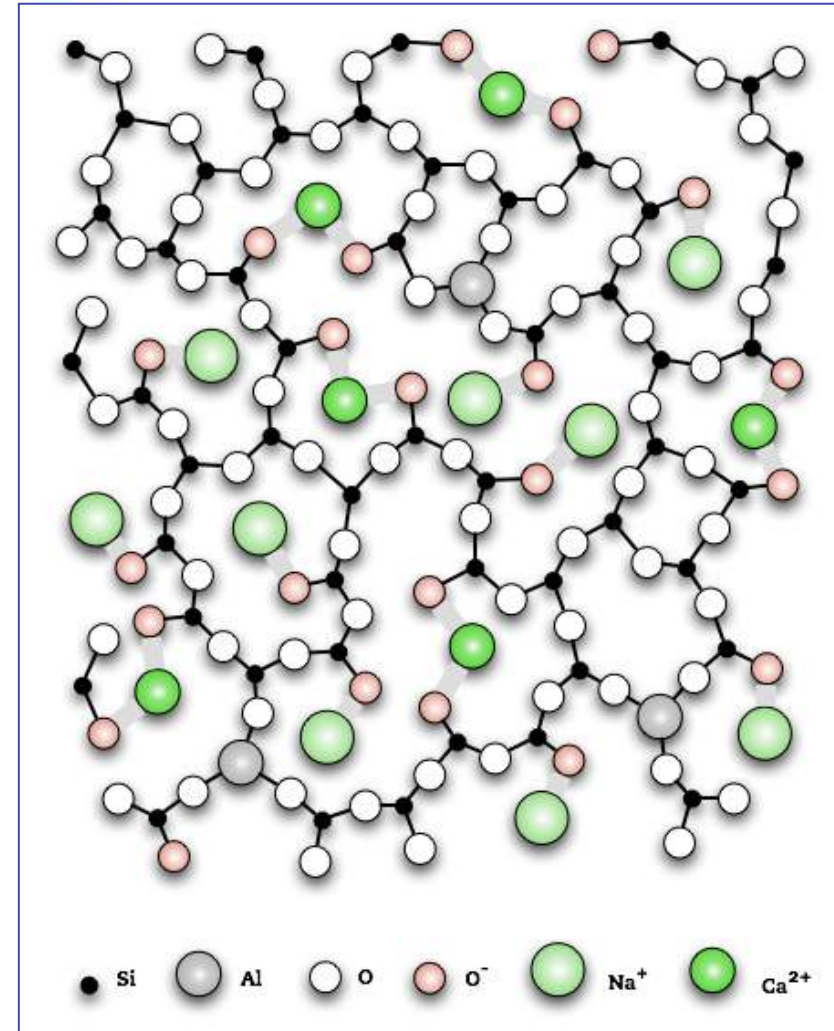
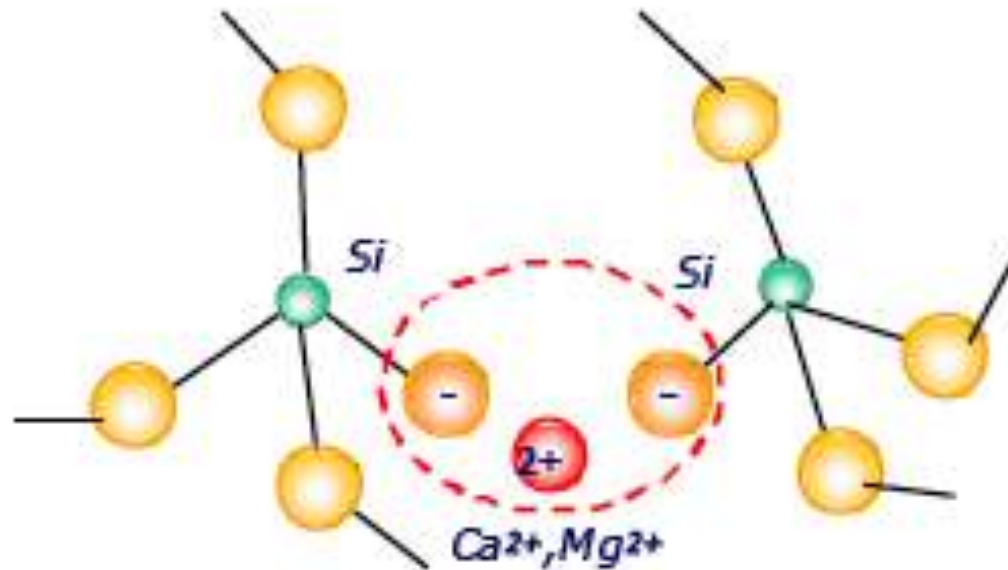
- Na_2O , K_2O : Li_2O

Componenti



Modificatori di "reticolo": *stabilizzanti*

- CaO , BaO , PbO , MgO , ZnO



Role	Cation	Z	r_c (Å)	A
Network formers	Si	4	0.4	1.23
	B	3	0.25	1.10
	Ge	4	0.53	1.07
Intermediates	Ti	4	0.74	0.87
	Al	3	0.53	0.80
	Zr	4	0.86	0.78
	Be	2	0.41	0.61
	Mg	2	0.86	0.39
	Zn	2	0.88	0.38
	Ca	2	1.14	0.31
Modifiers	Pb	2	1.33	0.27
	Li	1	0.90	0.19
	Na	1	1.16	0.15
	K	1	1.52	0.11

$$A = \frac{Z}{(r_c + r_o)^2}$$

Z =valenza del catione ($Z=1$ per Na^+ , $Z=2$ per Ca^{2+} , etc)

r_c =raggio del catione

r_o =raggio atomico dell'ossigeno

Degrado

Principali effetti della interazione di una superficie di vetro con agenti inquinanti presenti in atmosfera:

- Perdita di trasparenza e di lucentezza



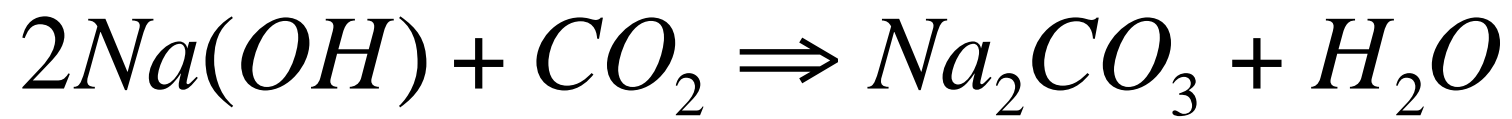
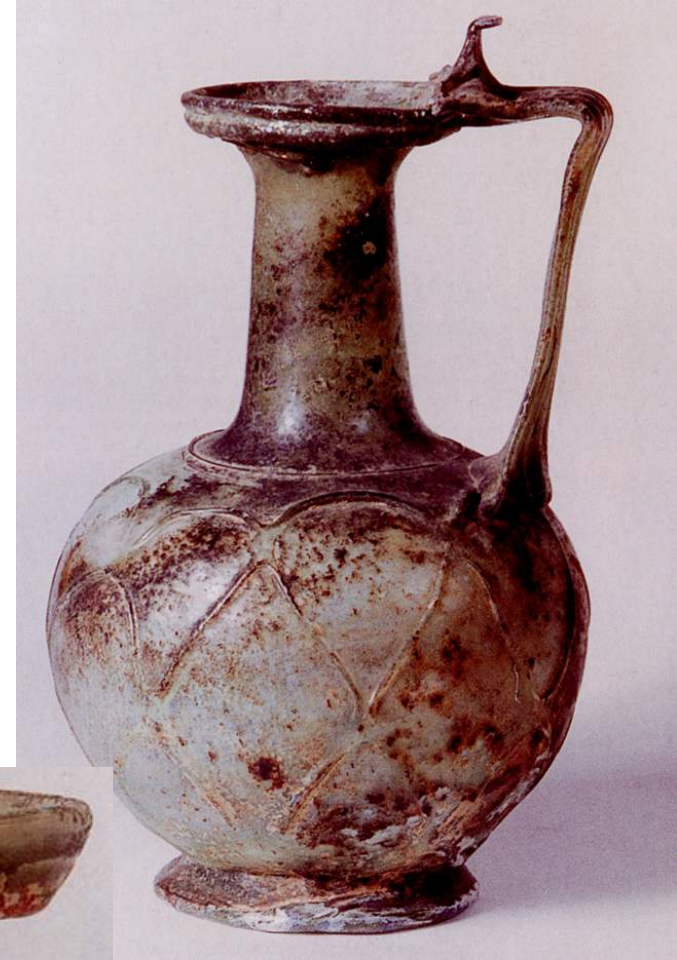
- Perdita di strati decorati (strati pittorici, ad esempio)



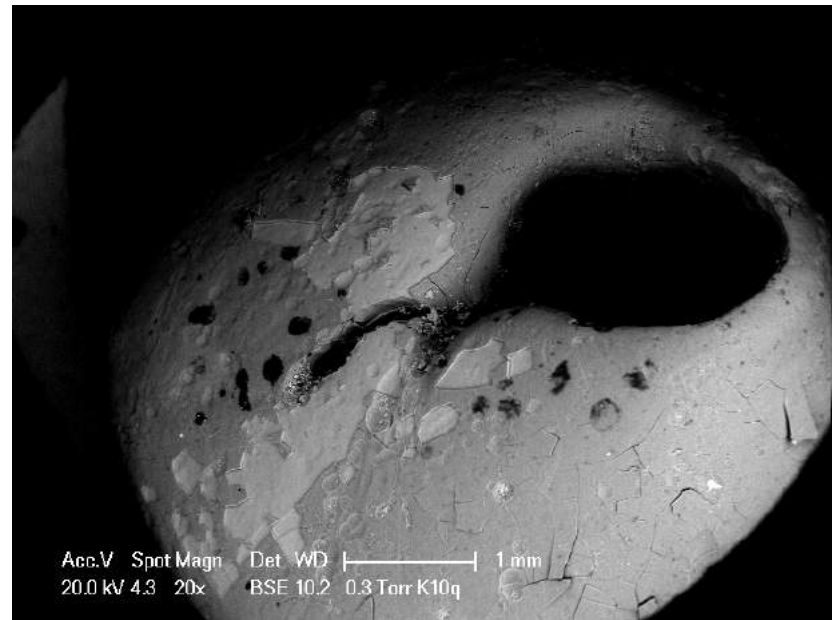
- Perdita di frammenti di vetro.



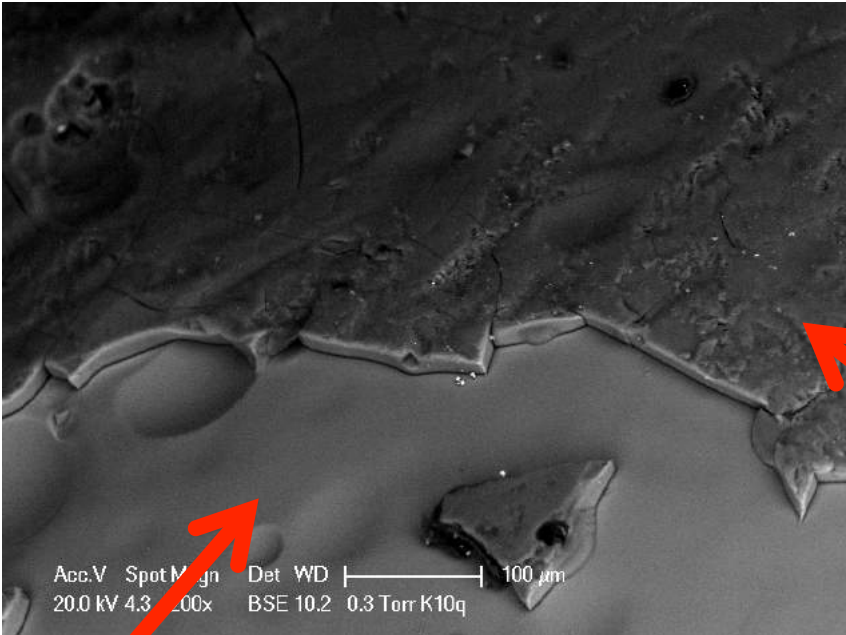
Degrado



Degrado



Element	Wt %
Na2O	8.34
MgO	0.82
Al2O3	3.83
SiO2	75.95
SO3	0.59
Cl2O	1.44
K2O	1.26
CaO	6.11
TiO2	0.37
Fe2O3	1.29
Total	100.00



Element	Wt %
Na2O	1.61
MgO	2.08
Al2O3	15.71
SiO2	71.45
K2O	4.76
CaO	2.90
Fe2O3	1.48
Total	100.00

Vetro base.

Strato alterato.

Materie prime fondamentali

Sabbia silicea

Rocce e ciottoli quarziferi

Natron

Ceneri sodiche

Ceneri potassiche

Materie prime accessorie

Materiale	Colore
Ti ³⁺	violetto
Cr ³⁺	verde
Mn ³⁺	porpora
Fe ²⁺	blu
Fe ³⁺	giallo-verde
Co ²⁺	blu
Ni ²⁺	marrone
Cu ²⁺	blu (verde nei borosilicati)

Materiale	Colore
Au	rosso rubino
Ag	giallo o ambra
Cu	rosso rubino
Cu ₂ O	rosso rubino
Se	rosa
CdS	giallo
CdSe	rubino

Coloranti

Decorazioni

Sabbia silicea

(Epoca Romana)

Foce del fiume Belus

Foce del fiume Volturno

Deserto Sahara (egizio)

Colonia

Composizioni tipiche di Belus :

70-75% di quarzo, SiO_2

16-18% di calcite, CaCO_3

4% plagioclasti

4% pirosseni

1% ilmenite

Composizioni tipiche del Tell-el Amarna - Egitto:

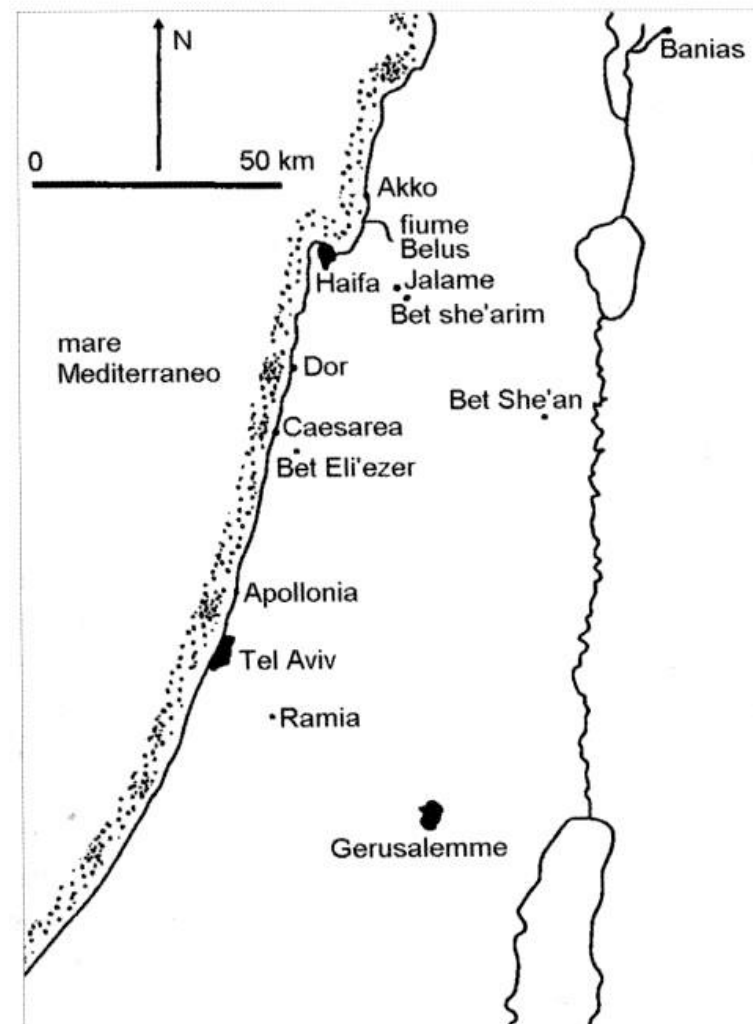
50-55% di quarzo, SiO_2

30-33% di calcite, CaCO_3

5% feldspato

5% pirosseni

1% ilmenite



Sabbia silicea

(Epoca Medioevale)

Maiorca

Marsala (spiaggia di S. Teodoro)

Francia meridionale

San Giovanni Valdarno



Materie prime

Natron:



Oasi di Wadi **Natrun** ed El Kab (Egitto)



Ceneri sodiche

... dalla combustione di piante cresciute in zone litoranee



Salicornia



Salsola kali

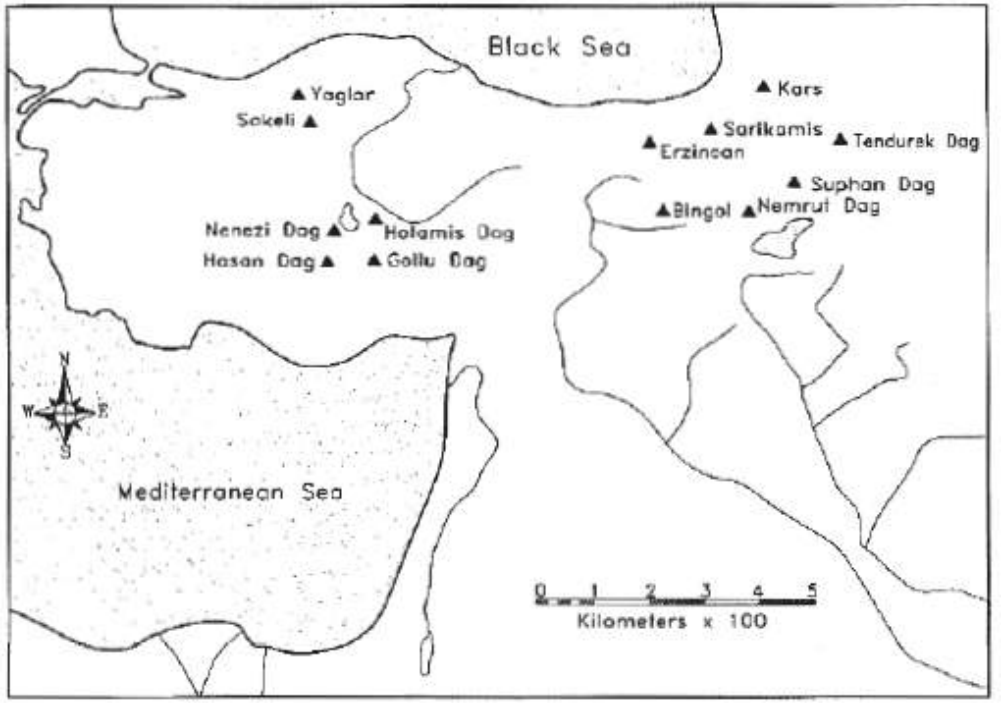
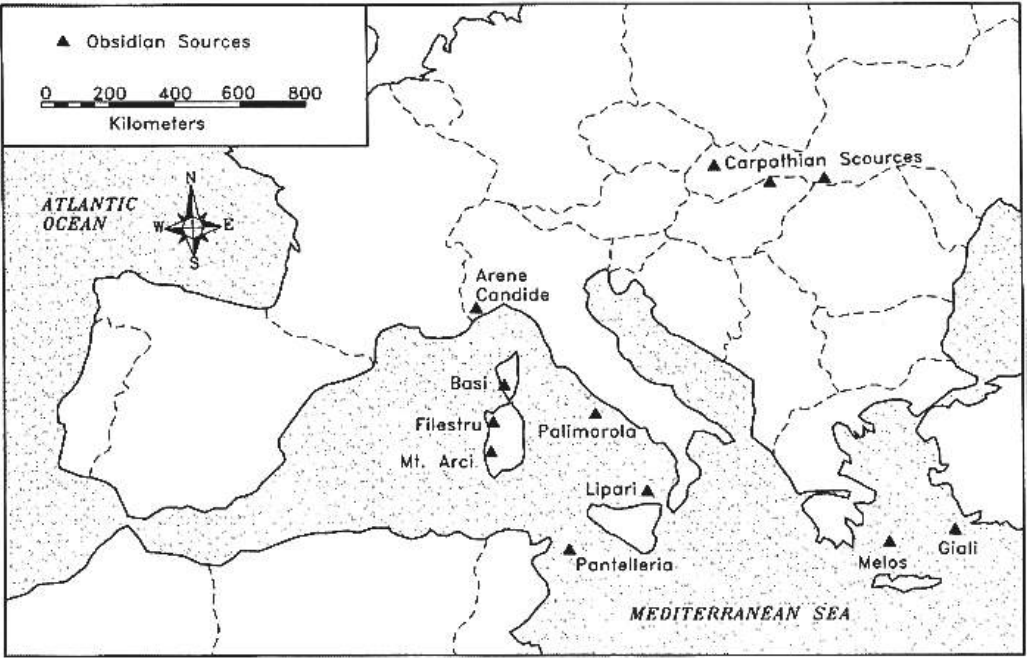
Ceneri potassiche

... dalla combustione di piante e alberi cresciuti in ambiente continentale: felci, faggio, leccio, quercia...

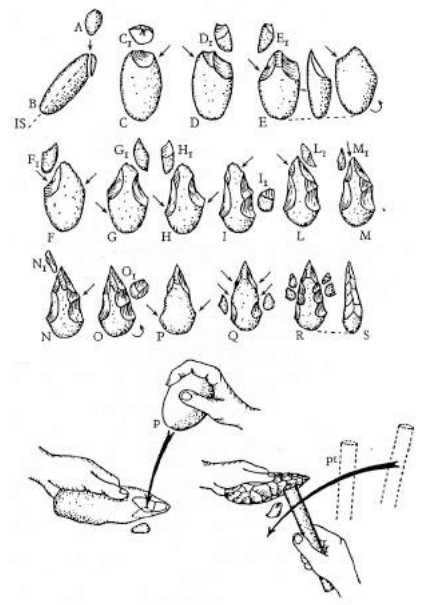


Il vetro prodotto con queste ceneri veniva chiamato *Waldglas*

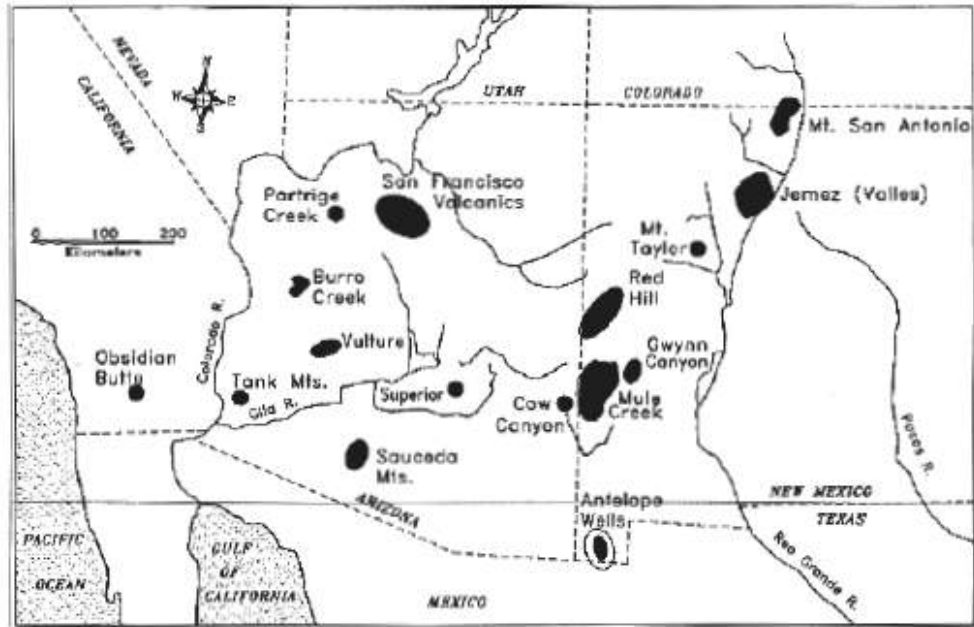
Tecnologie produttive



- Europa



Anatolia



Stati Uniti

Vetro

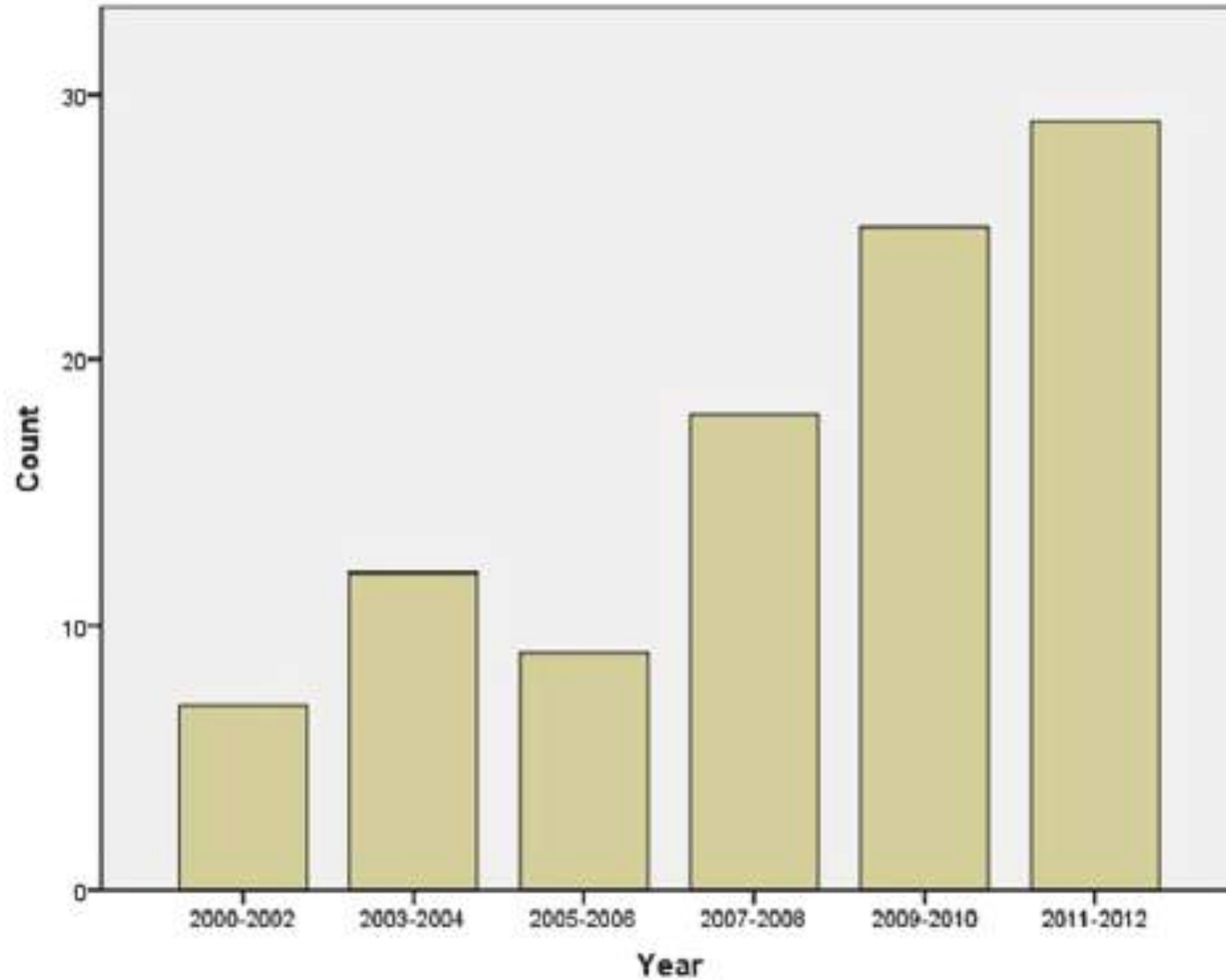


Figure 1 *Obsidian sourcing publications (n = 100) in academic journals from 2000 to 2012.*

PROVENANCE STUDIES OF CHALCOLITHIC OBSIDIAN ARTEFACTS FROM NEAR LAKE URMIA, NORTHWESTERN IRAN USING WDXRF ANALYSIS

K. A. NIKNAMI

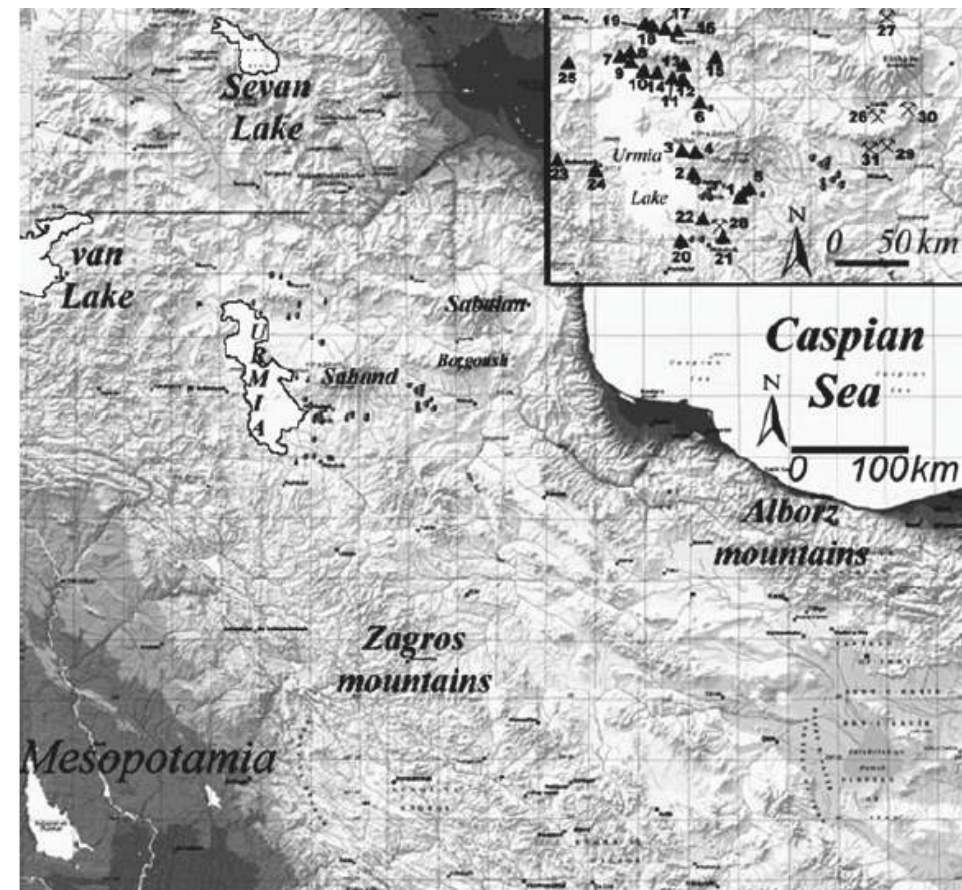
Department of Archaeology, University of Tehran, Enghlab Street, Tehran, Iran

A. C. AMIRKHIZ

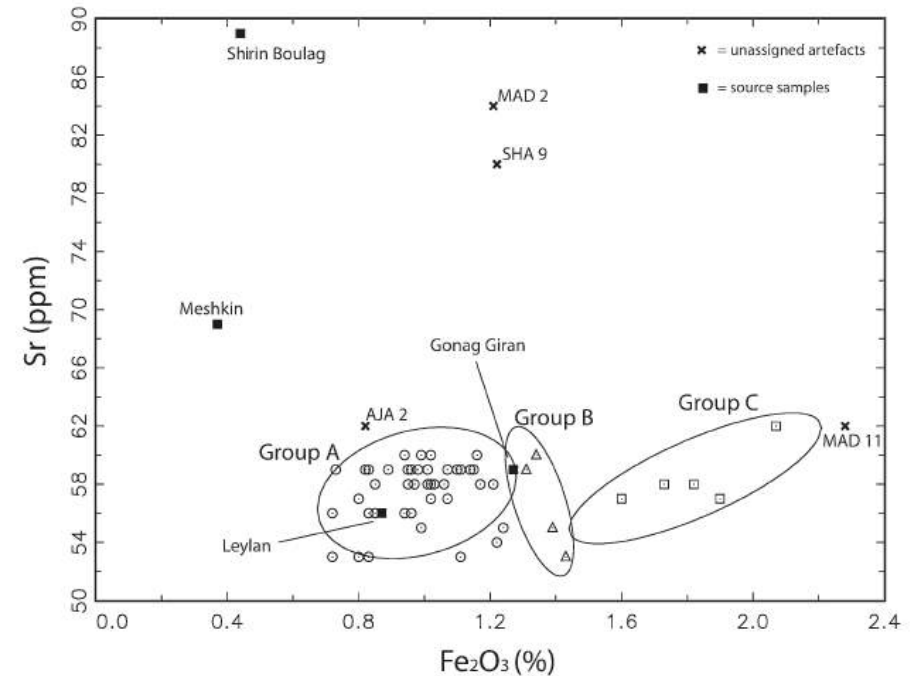
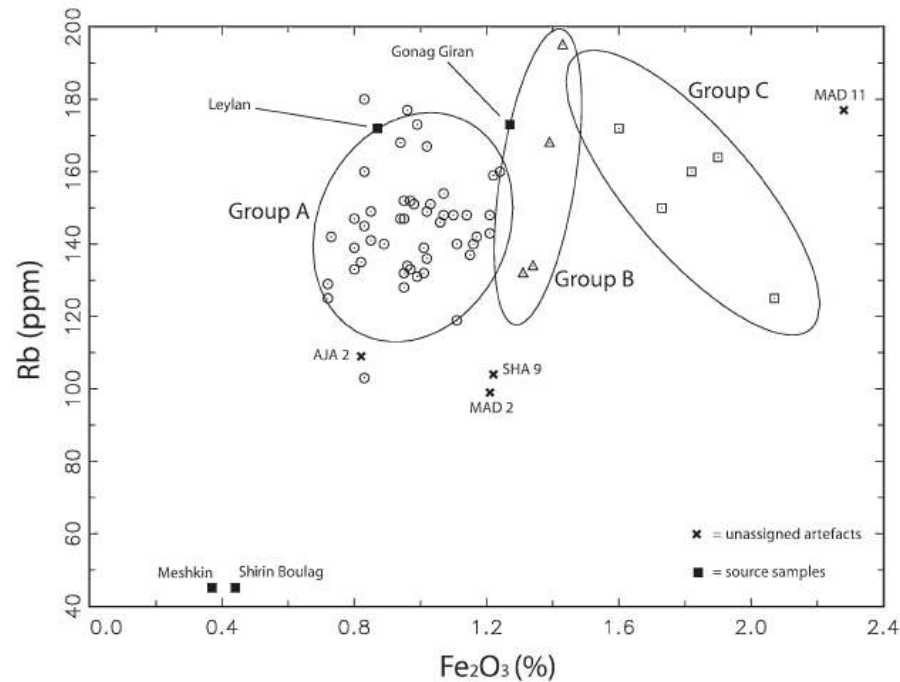
Iranian Centre for Archaeological Research (ICAR)

and M. D. GLASCOCK

Research Reactor Center, University of Missouri, Columbia, MO, USA



<i>Sample ID</i>	<i>Site code</i>	<i>Artefact/ Source</i>	<i>SiO₂ (%)</i>	<i>Fe₂O₃ (%)</i>	<i>MnO (%)</i>	<i>CaO (%)</i>	<i>Na₂O (%)</i>	<i>TiO₂ (%)</i>	<i>P₂O₅ (%)</i>	<i>Ba (ppm)</i>	<i>Ce (ppm)</i>	<i>Ga (ppm)</i>	<i>Hf (ppm)</i>	<i>Rb (ppm)</i>	<i>Sr (ppm)</i>	<i>Y (ppm)</i>	<i>Zn (ppm)</i>	<i>Zr (ppm)</i>
667-35	MAL 2	Artefact	80.15	1.11	0.06	0.47	3.61	0.09	0.04	21.00	61.00	59.00	5.00	119.00	53.00	14.00	67.00	159.00
667-36	Mar-01	Artefact	77.40	1.14	0.06	0.47	4.15	0.11	0.04	41.00	64.00	24.00	5.00	148.00	59.00	24.00	44.00	77.00
667-37	Mar-02	Artefact	79.48	0.95	0.06	0.47	4.06	0.10	0.03	36.00	67.00	43.00	5.00	128.00	59.00	19.00	47.00	101.00
667-38	Mar-03	Artefact	77.57	0.73	0.06	0.47	4.16	0.10	0.04	34.00	67.00	32.00	6.00	142.00	59.00	20.00	48.00	83.00
667-39	Mar-04	Artefact	78.99	0.96	0.07	0.44	4.30	0.09	0.03	17.00	48.00	28.00	6.00	177.00	56.00	19.00	50.00	87.00
667-40	MIB 4	Artefact	77.11	1.43	0.10	0.45	4.37	0.16	0.03	34.00	98.00	36.00	8.00	195.00	53.00	44.00	66.00	155.00
667-41	SHA 7	Artefact	77.31	1.03	0.09	0.55	4.28	0.08	0.03	20.00	43.00	43.00	4.00	151.00	58.00	29.00	55.00	122.00
667-42	SHA 8	Artefact	77.64	1.60	0.07	0.41	4.81	0.09	0.03	59.00	78.00	31.00	10.00	172.00	57.00	58.00	70.00	165.00
667-43	SHA 9	Artefact	77.30	1.22	0.06	0.90	4.25	0.11	0.05	511.00	54.00	35.00	4.00	104.00	80.00	22.00	42.00	96.00
667-44	SHA 10	Artefact	77.92	1.11	0.06	0.47	4.10	0.11	0.04	54.00	63.00	33.00	4.00	140.00	59.00	21.00	47.00	91.00
667-45	SHA 11	Artefact	78.03	0.94	0.09	0.54	4.28	0.07	0.03	11.00	48.00	34.00	5.00	168.00	56.00	32.00	44.00	105.00
667-46	SHA 12	Artefact	77.77	0.95	0.06	0.47	4.23	0.10	0.04	32.00	60.00	24.00	6.00	152.00	59.00	20.00	46.00	74.00
667-47	SHA 13	Artefact	79.21	1.15	0.06	0.47	3.96	0.10	0.04	47.00	59.00	37.00	5.00	137.00	59.00	20.00	62.00	102.00
667-48	SHA 14	Artefact	77.77	0.97	0.06	0.47	4.04	0.10	0.04	39.00	59.00	41.00	5.00	133.00	58.00	20.00	53.00	105.00
667-49	SHA 15	Artefact	77.97	1.02	0.06	0.47	4.08	0.10	0.04	35.00	63.00	39.00	5.00	136.00	58.00	20.00	54.00	104.00
667-50	SHA 16	Artefact	77.65	0.89	0.06	0.47	4.04	0.11	0.04	49.00	66.00	28.00	4.00	140.00	59.00	20.00	46.00	74.00
667-51	SHA 17	Artefact	77.64	0.83	0.06	0.47	4.06	0.10	0.03	40.00	63.00	23.00	5.00	145.00	59.00	21.00	41.00	67.00
667-52	SHA 18	Artefact	77.67	0.94	0.06	0.48	4.10	0.10	0.03	39.00	63.00	24.00	5.00	147.00	60.00	23.00	42.00	80.00
667-53	SHA 19	Artefact	77.74	0.97	0.06	0.47	4.16	0.10	0.04	35.00	58.00	21.00	4.00	152.00	58.00	23.00	49.00	72.00
667-54	SHA 20	Artefact	77.32	1.07	0.07	0.45	4.26	0.09	0.03	15.00	55.00	35.00	6.00	154.00	57.00	20.00	54.00	96.00
667-55	SHA 21	Artefact	77.20	1.31	0.10	0.46	3.98	0.09	0.04	27.00	101.00	55.00	6.00	132.00	59.00	32.00	97.00	180.00
667-56	SHA 22	Artefact	78.44	0.80	0.08	0.55	3.77	0.07	0.04	8.00	45.00	57.00	6.00	133.00	53.00	24.00	61.00	151.00
667-57	SHA 23	Artefact	78.78	0.99	0.06	0.47	3.73	0.10	0.04	50.00	66.00	37.00	5.00	131.00	60.00	23.00	53.00	96.00
667-58	SHA 24	Artefact	78.28	0.83	0.09	0.55	4.03	0.07	0.03	8.00	55.00	36.00	4.00	160.00	56.00	31.00	41.00	108.00
667-59	SHA 25	Artefact	78.72	0.95	0.06	0.47	3.86	0.10	0.04	36.00	62.00	40.00	5.00	132.00	58.00	22.00	53.00	117.00
667-60	SHA 26	Artefact	77.62	1.06	0.06	0.50	4.12	0.10	0.04	31.00	61.00	32.00	4.00	146.00	58.00	25.00	47.00	92.00
722-1	GONAG	Source	74.92	1.27	0.09	0.31	3.54	0.16	0.03	36.00	70.00	22.00	13.00	173.00	59.00	50.00	136.00	131.00
722-2	MESHKIN	Source	99.33	0.37	0.01	0.24	0.03	0.02	0.04	110.00	18.00	20.00	3.00	45.00	69.00	7.00	23.00	19.00
722-3	SHIRIN B	Source	79.42	0.44	0.01	3.62	14.91	0.08	0.05	80.00	26.00	19.00	6.00	45.00	89.00	8.00	27.00	19.00
722-4	LEYLAN	Source	78.97	0.87	0.09	0.56	3.89	0.08	0.04	6.00	50.00	35.00	6.00	172.00	56.00	30.00	48.00	105.00



Element	Group A (n = 47)		Group B (n = 4)		Group C (n = 5)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
SiO ₂ (%)	78.43	± 1.05	77.6	± 0.52	76.78	± 0.6
Fe ₂ O ₃ (%)	0.98	± 0.14	1.37	± 0.05	1.82	± 0.18
MnO (%)	0.067	± 0.012	0.088	± 0.018	0.071	± 0.001
CaO (%)	0.49	± 0.03	0.5	± 0.07	0.43	± 0.01
Na ₂ O (%)	4	± 0.25	3.99	± 0.27	4.78	± 0.13
TiO ₂ (%)	0.099	± 0.018	0.126	± 0.036	0.092	± 0.003
P ₂ O ₅ (%)	0.041	± 0.045	0.035	± 0.002	0.032	± 0.003
Ba (ppm)	32.2	± 14.3	35.6	± 6.8	64.6	± 12.9
Ce (ppm)	62	± 10.6	90	± 18.7	74.6	± 2.7
Ga (ppm)	34.8	± 10.9	43.2	± 8.3	39.8	± 8.8
Hf (ppm)	5.1	± 1	6.5	± 1.3	9.8	± 0.8
Rb (ppm)	144.7	± 14.6	157.2	± 30.1	154.2	± 18.1
Sr (ppm)	57.4	± 2.1	56.8	± 3.3	58.4	± 2.1
Y (ppm)	23.6	± 8.5	35.8	± 10.9	52.8	± 6.8
Zn (ppm)	64.4	± 63.5	113.8	± 64.1	99.4	± 32.4
Zr (ppm)	102.3	± 27.9	155.8	± 31.2	174	± 6

Principali categorie di vetri riferibili al primo millennio (AD):

- Vetri a base di **natron** e sabbie silicee contenenti frammenti calcarei.
- Vetri da sabbie o quarziti e **ceneri sodiche** di piante provenienti da ambienti ricchi di sali sodici, quali piante litoranee o desertiche.
- Vetri da **ceneri potassiche** di legno di piante continentali e materiale siliceo.

Classificazione su base composizionale: i limiti

- Diversi approcci/metodologie sperimentali.
- Disomogeneità intrinseche del materiale vetro:
 - difetti di lavorazione*
 - disomogeneità delle materie prime; riuso*
 - effetti estetici*
 - deterioramento*

Distribuzione/distinzione geografica:

- Europa

Romani europei

Romani con antimonio

Alto medievali

Medievali

- Area mediterranea centro-orientale

Egypt I (o Wadi natrun)

Egypt II

Levantine I

Levantine II

HIMT (High Iron Manganese Titanium)

Vetri islamici

Tipologia	Area geografica	Matrice	Origine della sabbia e del fondente	Particolarità
Vetri romani tra I e IV sec. d.C.	Area mediterranea: costa Siria, Egitto, Italia, province occidentali	Silico-sodico-calcica	Sabbia calcarea delle rive del fiume Belus; natron di Wadi el-Natron Egitto	<ul style="list-style-type: none"> Omogeneità composizionale Basso MgO Decolorante impiegato manganese (MnO 0,4-0,7%)
Vetri romani decolorati con antimonio (VI sec. a.C. / IV sec. d.C.)	Area mediterranea: Grecia, Asia minore e Persia tra V e IV a.C., successivamente Eufrate orientale	Silico-sodico-calcica	Natron di Wadi el-Natron o piante sodiche	<ul style="list-style-type: none"> Concentrazioni composizionali simili alla precedente tipologia Decolorante impiegato antimonio, in alte concentrazioni (Sb₂O₃ 1%) Basso MgO
Vetri Alto-medievali	Area mediterranea tra V e X sec. d.C.: Italia, Cartagine.	Silico-sodico-calcica	Sabbie calcaree probabilmente delle rive del fiume Belus e prevalenza di natron di Wadi el-Natron	<ul style="list-style-type: none"> Riciclaggio di vetro Maggiori concentrazioni di potassio e magnesio indicanti una fonte sodica diversa da Wadi el-Natron Probabile indipendenza dalla ricetta produttiva romana

Vetri Alto-medievali	Area centronord europea: Francia (Dorestad), Inghilterra (Fishergate)	Silico-sodico-calcica	Ceneri di piante sodiche	<ul style="list-style-type: none"> Riciclaggio di vetro Maggiori concentrazioni di potassio e magnesio indicanti una fonte sodica diversa da Wadi el-Natron Probabile indipendenza dalla ricetta produttiva romana
Vetri medievali	Area nord europea Germania	Early woodash glass 800-1000 d.C. Silico-potassico-calcica	Ceneri di abete rosso e corteccia di faggio	<ul style="list-style-type: none"> Alto MgO Introduzione vetro sodico (cullet) alla miscela di partenza
Vetri medievali	Area nord europea Germania	Woodash glass 1000-1400 d.C. Silico-potassico-calcica	Tronchi di faggio e sabbia quarzifera di diversa provenienza	<ul style="list-style-type: none"> Diminuzione SiO₂, Na₂O e aumento di K₂O
Vetri medievali	Area nord europea Germania	Woodash-lead glass 1100-1400 d.C. Silico-potassico-calcica	Ceneri boschive	<ul style="list-style-type: none"> Aggiunta dell'ossido di piombo prodotto dalle metallurgie argentifere medioevali

<i>Vetri romani tra I e IV sec. d.C.</i>	Area mediterranea: costa Siria, Egitto, Italia, province occidentali	Silico-sodico-calcica	Sabbia calcarea delle rive del fiume Belus; natron di Wadi el-Natrun Egitto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Omogeneità composizionale ▪ Basso MgO ▪ Decolorante impiegato manganese (MnO 0,4-0,7%)
--	--	-----------------------	---	--

Alcune considerazioni sui vetri romani:

- Omogeneità composizionale: poche materie prime; ricetta semplice
Pochi centri di produzione primaria nei quali venivano usate le stesse materie prime
- A partire dal IV sec vetri e prodotti evidentemente più scadenti
subentrano i tipi Levantine I e HIMT

<i>Vetri romani decolorati con antimonio (VI sec. a.C. / IV sec. d.C.).</i>	Area mediterranea: Grecia, Asia minore e Persia tra V e IV a.C., successivamente Eufrate orientale	Silico-sodico-calcica	Natron di Wadi el-Natrun o piante sodiche	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Concentrazioni composizionali simili alla precedente tipologia ▪ Decolorante impiegato antimonio, in alte concentrazioni (Sb_2O_5 1%) ▪ Basso MgO
---	--	-----------------------	---	--

Alcune considerazioni sui vetri decolorati Sb:

- Primi vetri decolorati con Sb_2O_5 risalenti al primo millennio a. C.
in epoca romana, apice nell'uso di Sb nel II sec d.C.
dal I sec d.C. si usa nche Mn come decolorante

- Aumentando la concentrazione, Sb opacifica.

Sb ma anche Sn diventano opacificanti per vetri bianchi o, con aggiunte di cromatofori, di altri colori.
dal V secolo lo Sn diventa opacificante principale.

<i>Vetri Alto-medievali</i>	Area mediterranea tra V e X sec. d.C.: Italia, Cartagine.	Silico-sodico-calcica	Sabbie calcaree probabilmente delle rive del fiume Belus e prevalenza di natron di Wadi el-Natron	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Riciclaggio di vetro ▪ Maggiori concentrazioni di potassio e magnesio indicanti una fonte sodica diversa da Wadi el-Natron ▪ Probabile indipendenza dalla ricetta produttiva romana
<i>Vetri Alto-medievali</i>	Area centronord europea: Francia (Dorestad), Inghilterra (Fishergate)	Silico-sodico-calcica	Ceneri di piante sodiche	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Riciclaggio di vetro ▪ Maggiori concentrazioni di potassio e magnesio indicanti una fonte sodica diversa da Wadi el-Natron ▪ Probabile indipendenza dalla ricetta produttiva romana

Alcune considerazioni sui vetri Alto-medievali:

- Contemporaneamente al passaggio dal natron alle ceneri di piante litoranee in area mediterranea, si assiste al passaggio alle ceneri di legno potassiche in Europa centrale.

ciò avviene a partire dal se VIII

crescente richiesta di vetro in epoca carolingia

in particolare per la realizzazione di vetrate nelle chiese.

Tipologia	Area geografica	Matrice	Origine della sabbia e del fondente alcalino	Particolarità
<i>Egypt I o Wadi Natrîn. Fine VII sec. /VIII sec. d.C.</i>	Medio Oriente: Egitto	Silico-sodico-calcica	Natron e sabbie egiziane	<ul style="list-style-type: none"> Alto contenuto di allumina (3/4,5%) Basso contenuto di CaO (3/4%)
<i>Egypt II. VIII/IX sec. d.C.</i>	Medio Oriente: Egitto	Silico-sodico-calcica	Natron e sabbie dell'entroterra egiziano	<ul style="list-style-type: none"> Alto contenuto di CaO (9%) Basso contenuto di allumina (1,5-2,5%) Frazione calcarea delle sabbie costituita da pietra calcarea
<i>Levantine I (vetri bizantini). IV/VII sec. d.C.</i>	Medio Oriente: Palestina, nord Israele (Apollonia, Bet Shean), Jalame	Silico-sodico-calcica	Natron e sabbie calcaree delle rive del fiume Belus	<ul style="list-style-type: none"> Differenza dai vetri romani costituita da: più alte concentrazioni di Al₂O₃ (3%), CaO (8%) e basse di MnO (0,1%)

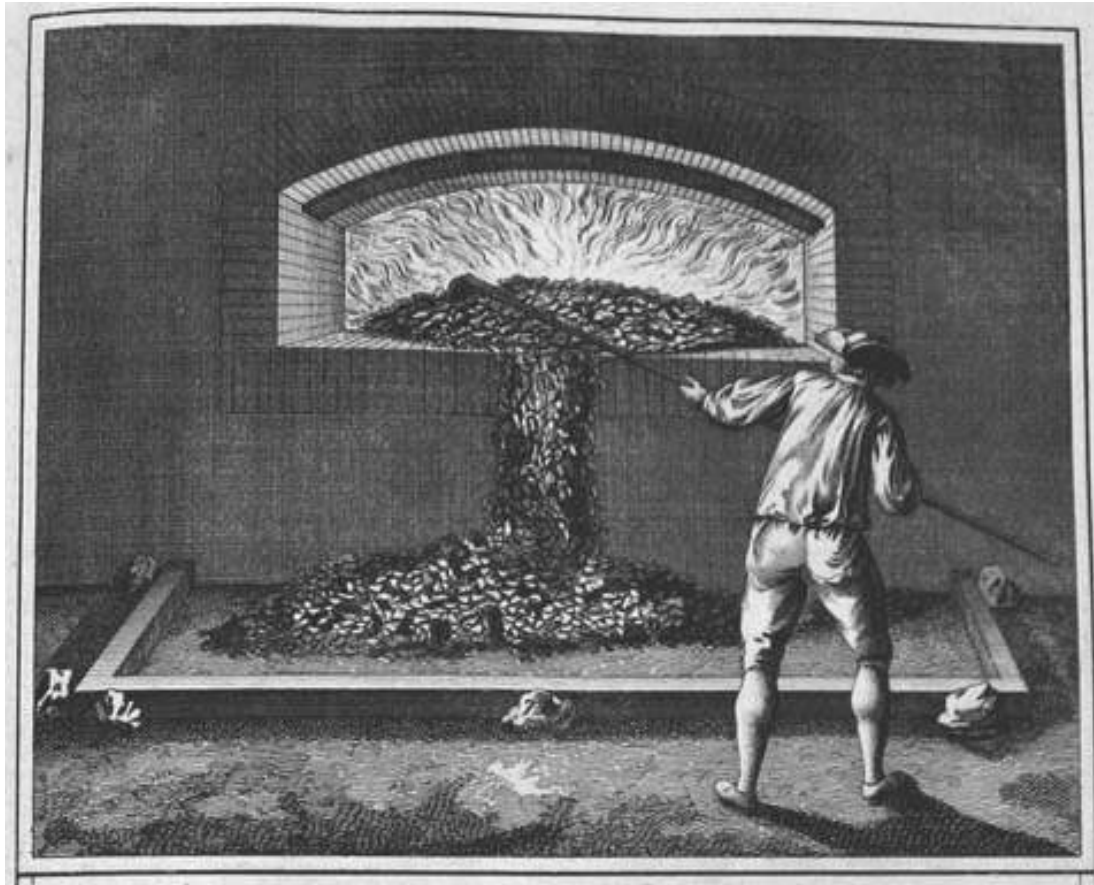
Tipologia	Area geografica	Matrice	Origine della sabbia e del fondente alcalino	Particolarità
<i>Levantine II (vetri bizantini). VI/VII sec. d.C.</i>	Medio Oriente: Israele (Bet Eli'ezer)	Silico-sodico-calcica	Natron e sabbie di probabile origine della costa palestinese.	<ul style="list-style-type: none"> Diminuzione del natron in rapporto alla sabbia Conseguente calo di CaO e Na₂O ed aumento di SiO₂ e Al₂O₃
<i>HIMT (High iron, manganese, titanium). IV/VIII sec. d.C.</i>	Medio Oriente ed area occidentale del Mediterraneo, nonché Italia (Aosta), Londra, Germania, nord Sinai	Silico-sodico-calcica	Natron	<ul style="list-style-type: none"> Alte concentrazioni di Fe (0,22/2,3%), Mn (0,01/2,5%), Ti (0,05/0,79%)
<i>Vetri Islamici VIII/XII sec. d.C.</i>	Medio Oriente: Egitto, Siria (Raqqqa), Israele (Banias)	Silico-sodico-calcica	Ceneri sodiche litoranee o sali del fiume Nilo; Sabbie di diversa provenienza a bassa frazione calcarea	<ul style="list-style-type: none"> Alta magnesia: sembra recuperare le alte concentrazioni dei vetri del II millennio a.C. Manganese impiegato come decolorante

Principali fasi della tecnologia vetraria

1: Calcinazione o Frittaggio

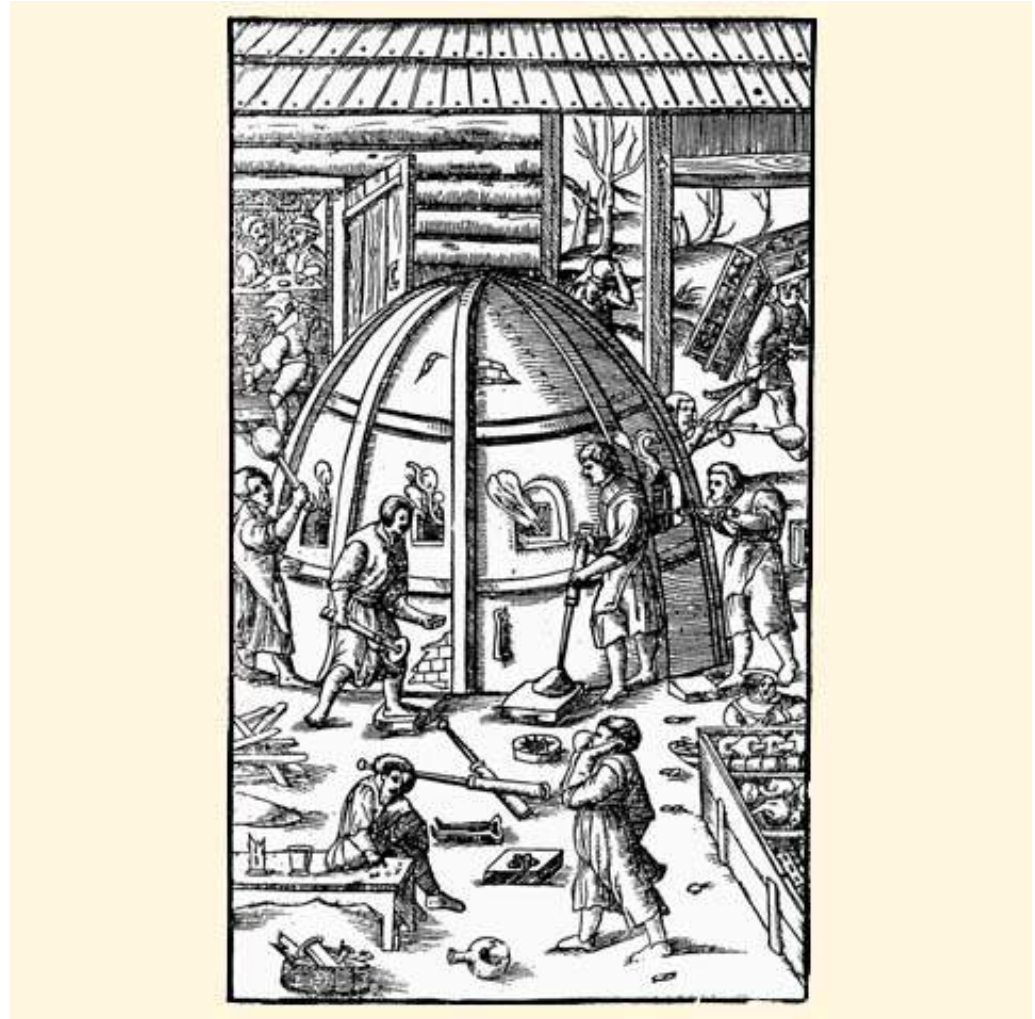
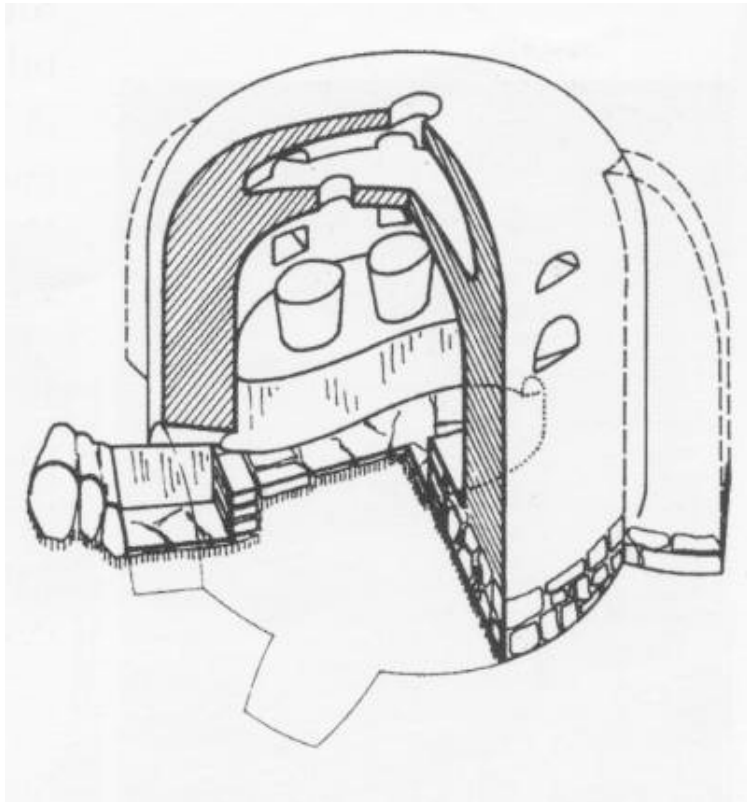
Preparazione della FRITTA: miscelazione e riscaldamento delle materie prime al di sotto del punto di fusione al fine di promuovere reazioni allo stato solido tra silice (SiO_2) e alcali (e.g., Na_2O , etc)

T_{max} : 750-850 °C

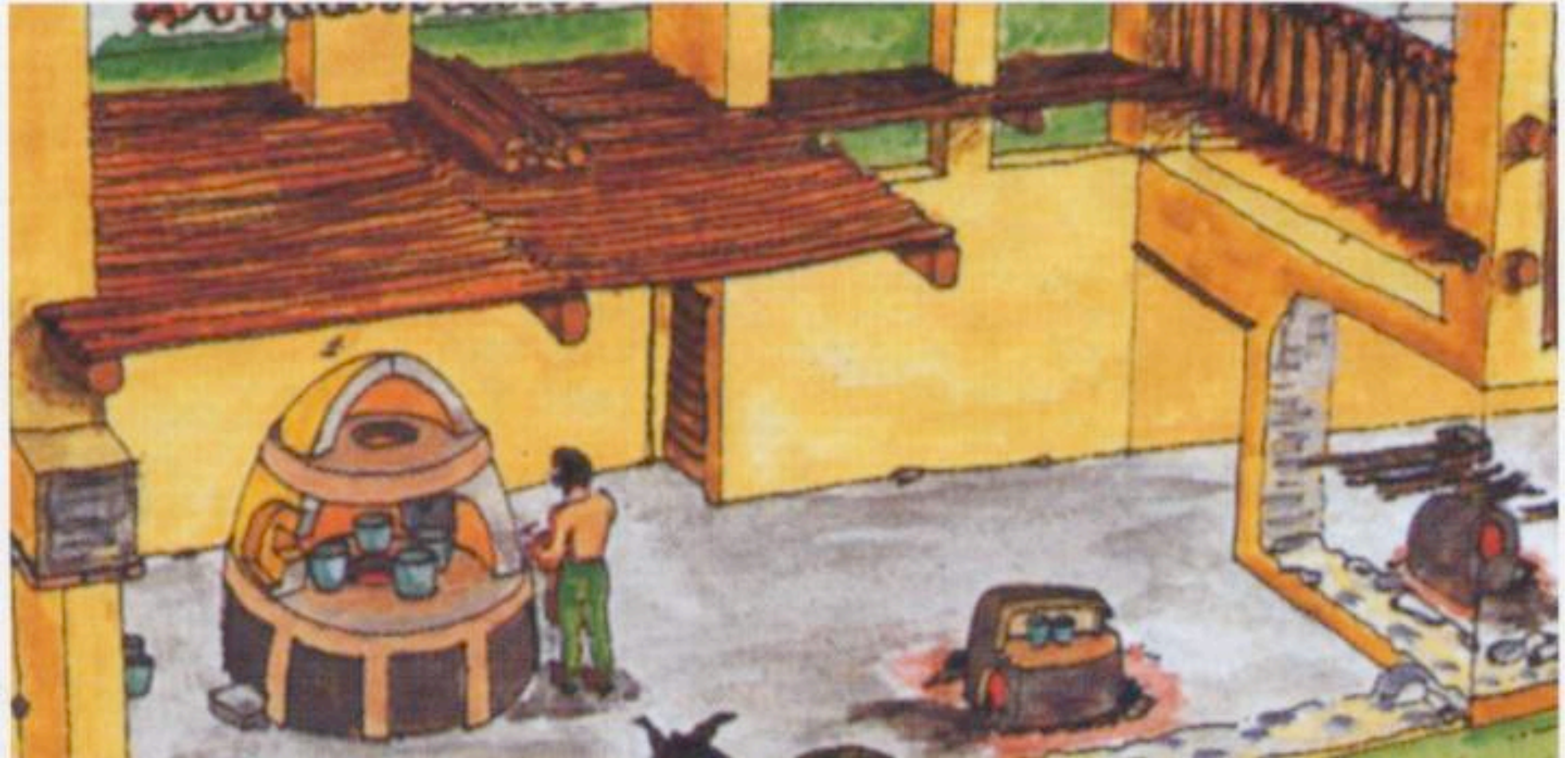


2: Affinamento

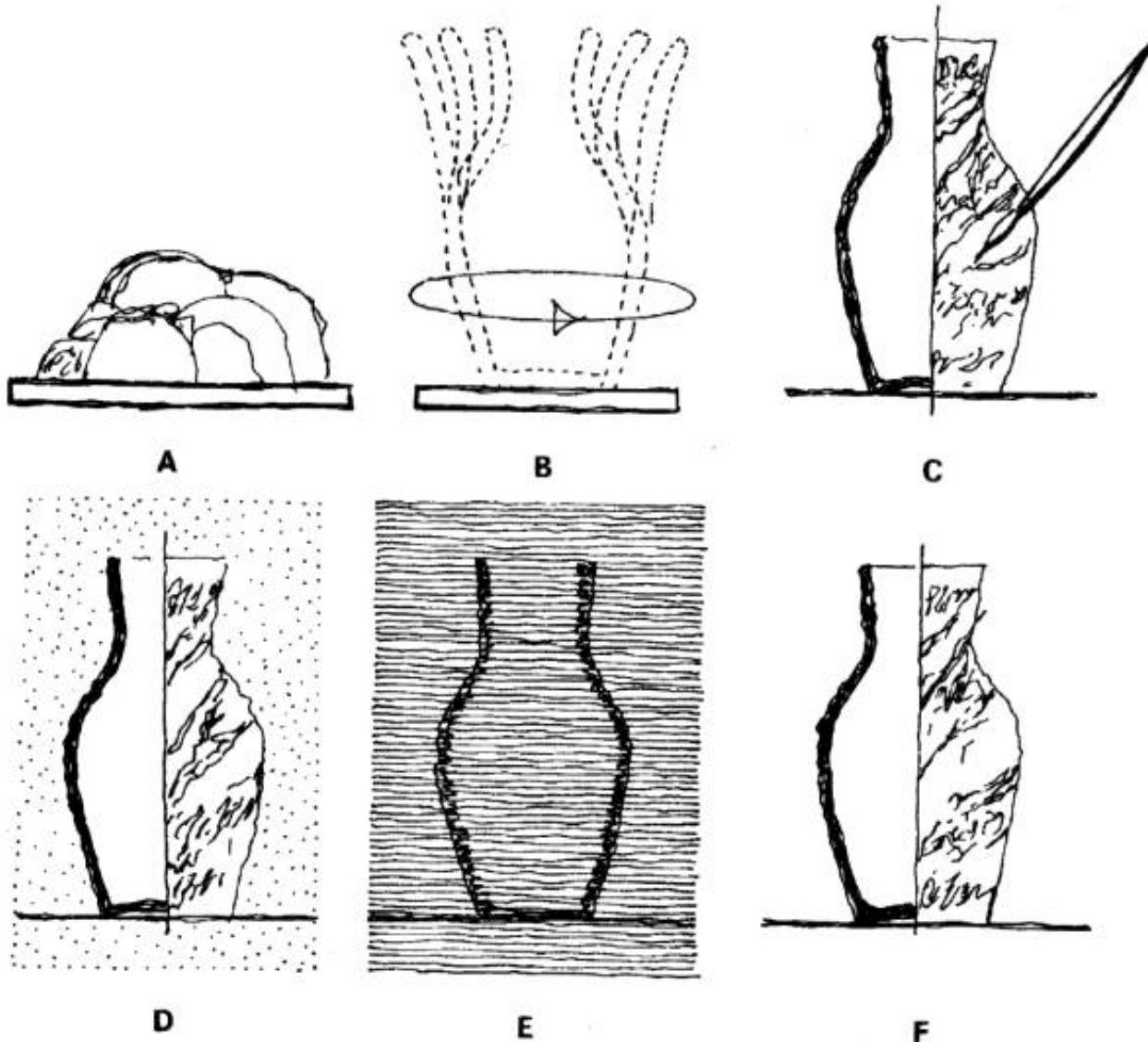
La fritta, eventualmente insieme a rottami di vetro, viene riscaldata per più giorni a temperature superiori a quella di fusione. Si forma la MASSA VITREA, materia base per le diverse lavorazioni.



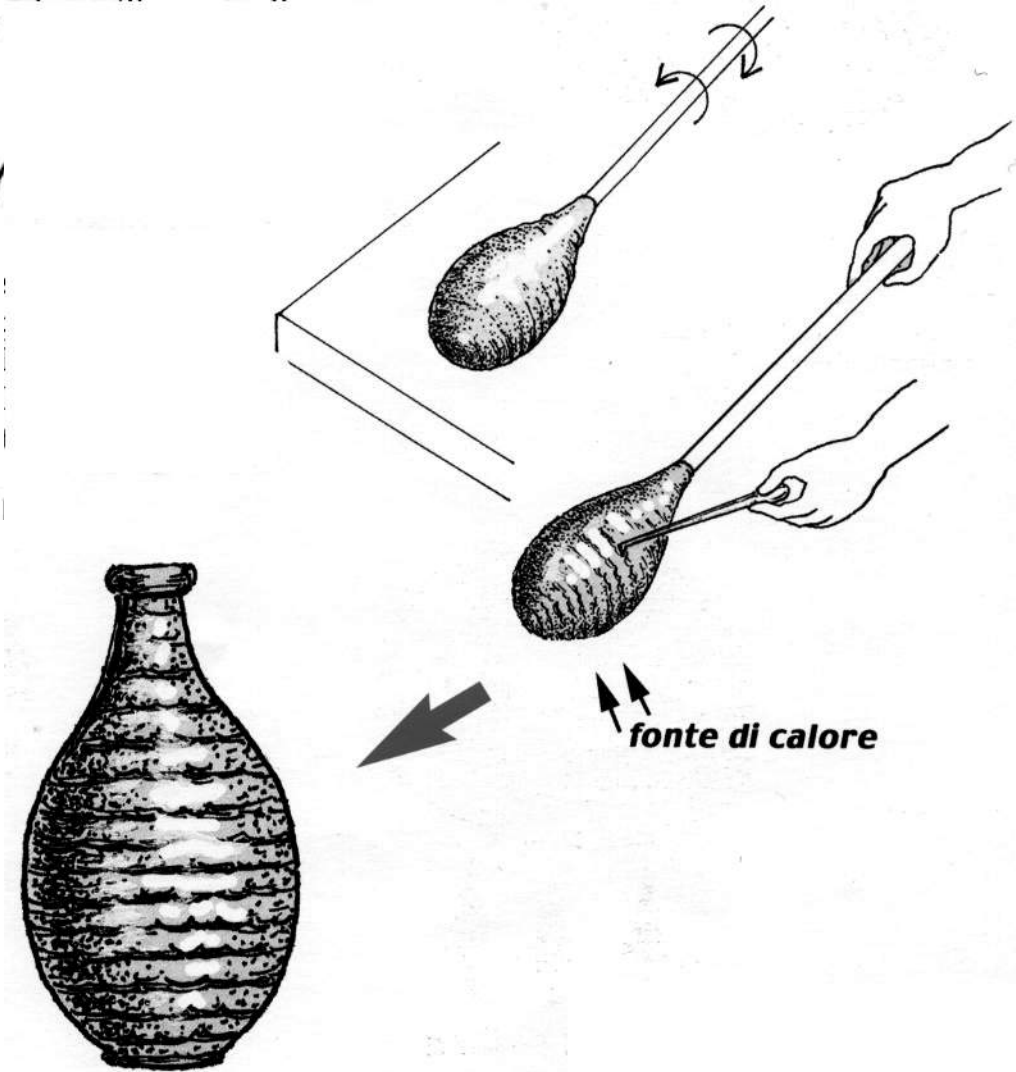
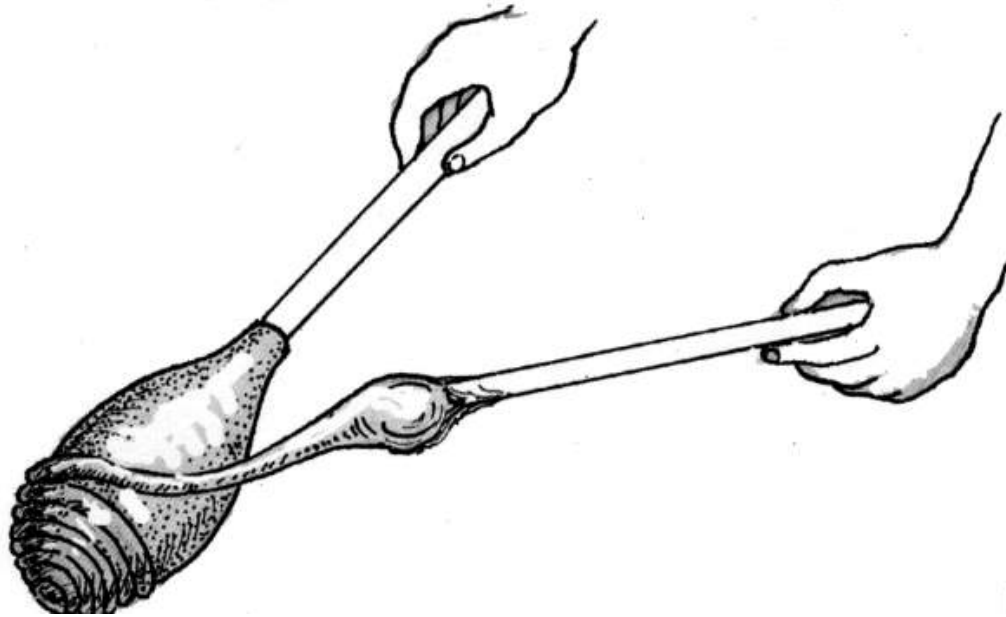
3: Lavorazioni



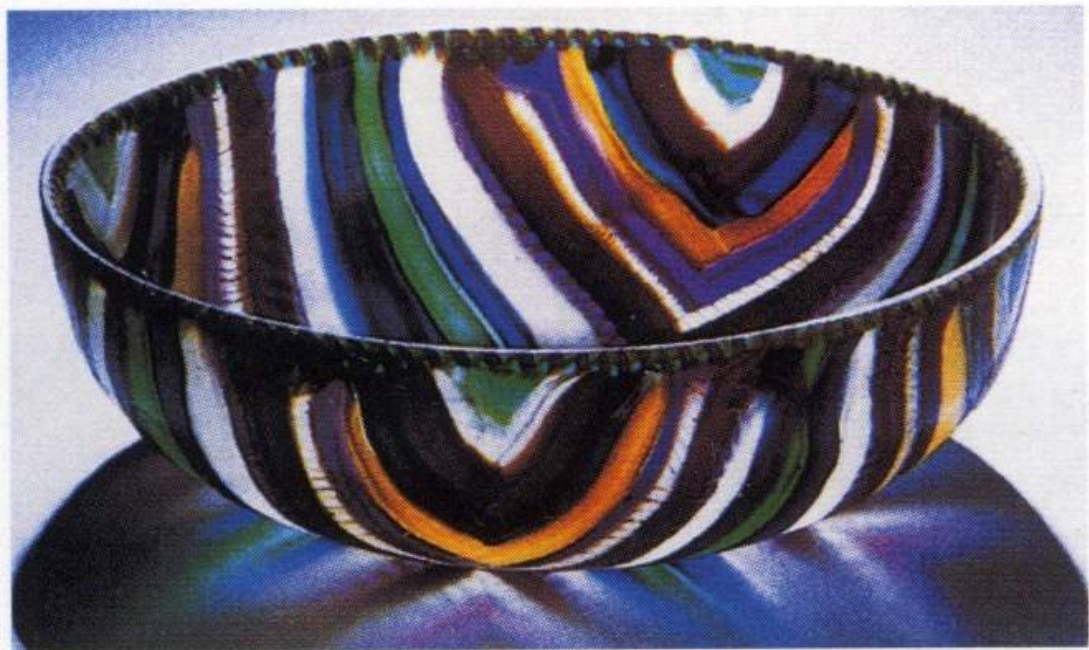
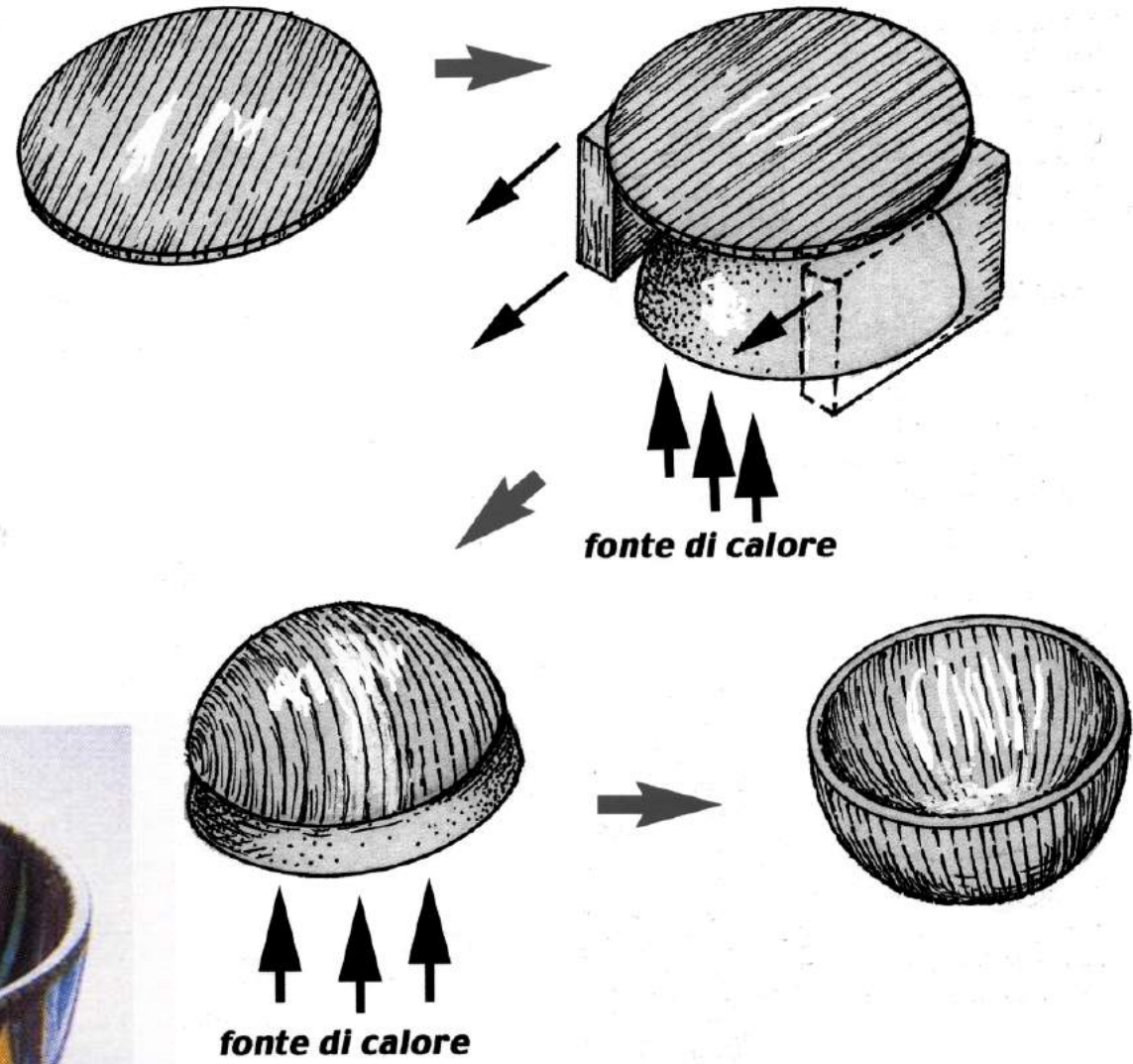
Metodo dell' impasto di polvere vitrea, lavorato al tornio



Modellazione di impasto vitreo su nucleo o di fibra organica o di terracotta.

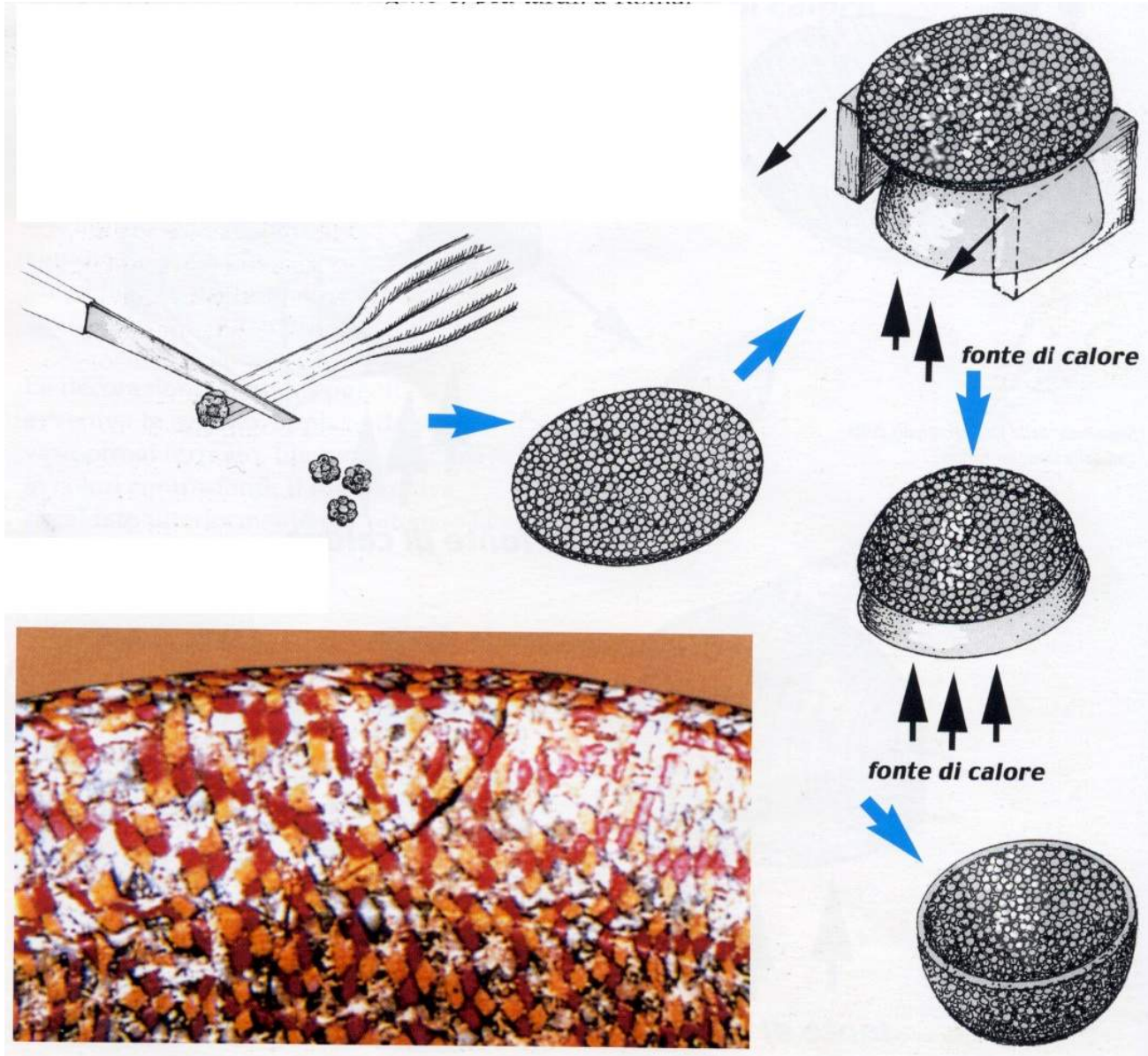


Modellazione su forma



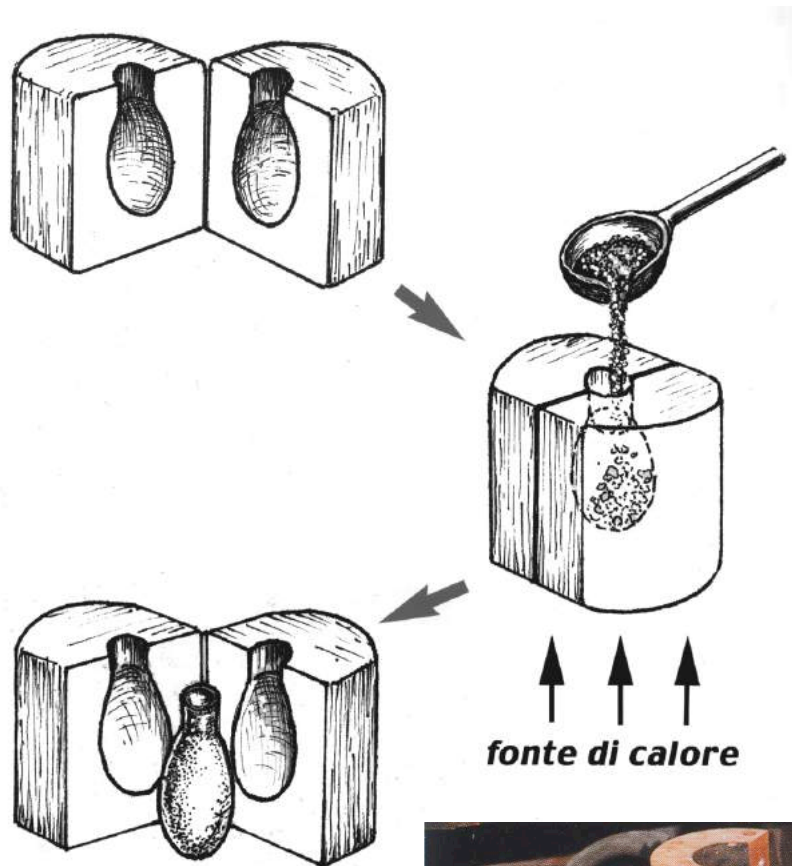
Tecnologie produttive

Tecnica "millefiori"



Tecnologie produttive

Tecnica di colaggio



Vetro marmorizzato



Tecnologie produttive

Soffiatura o soffiaggio

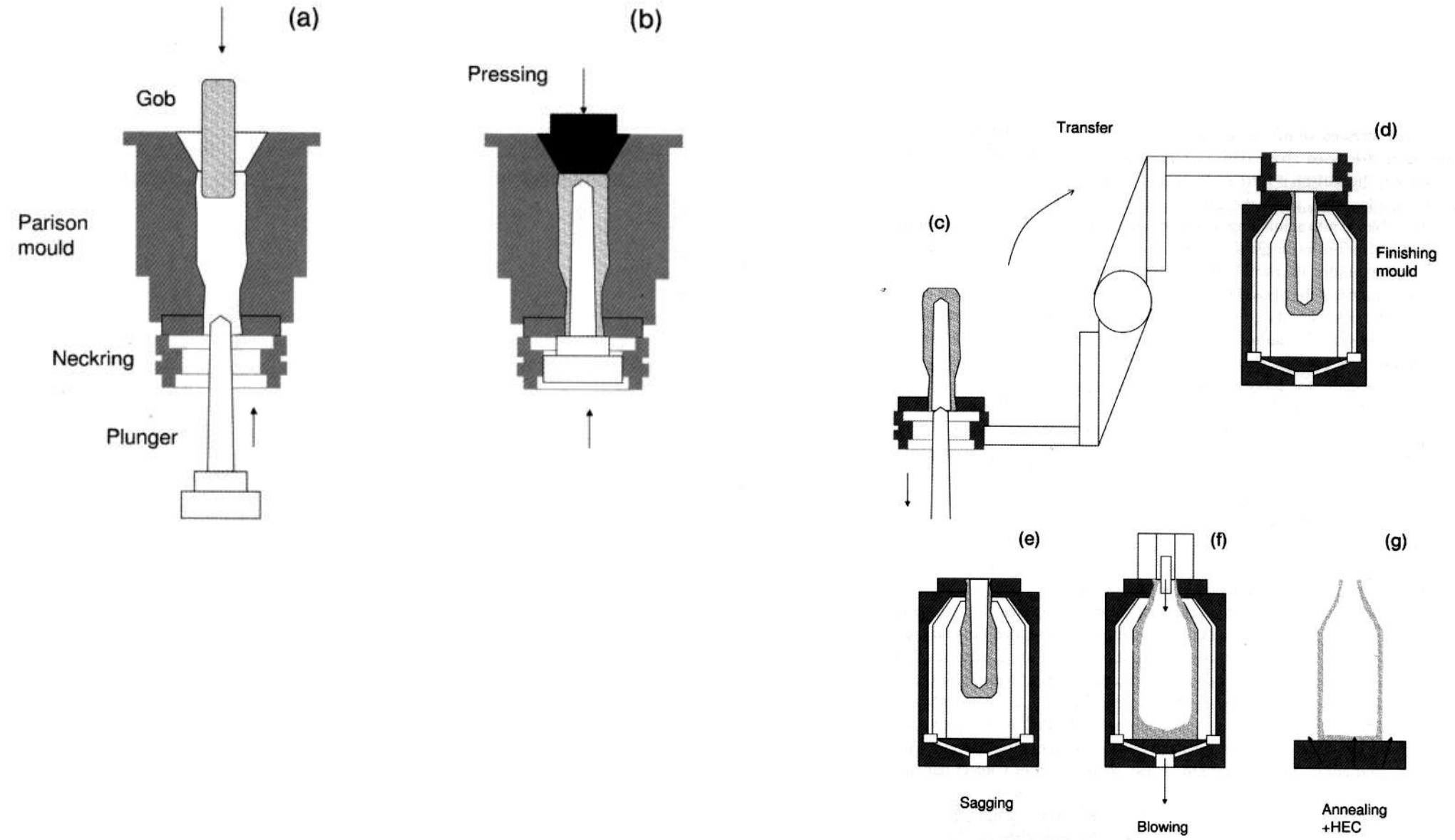


Libera



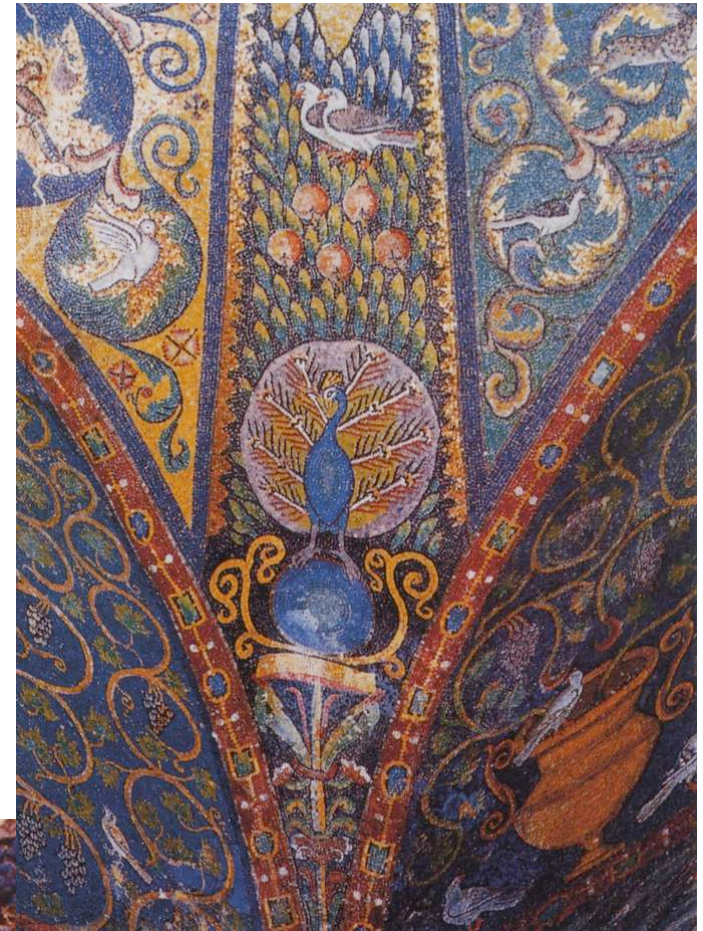
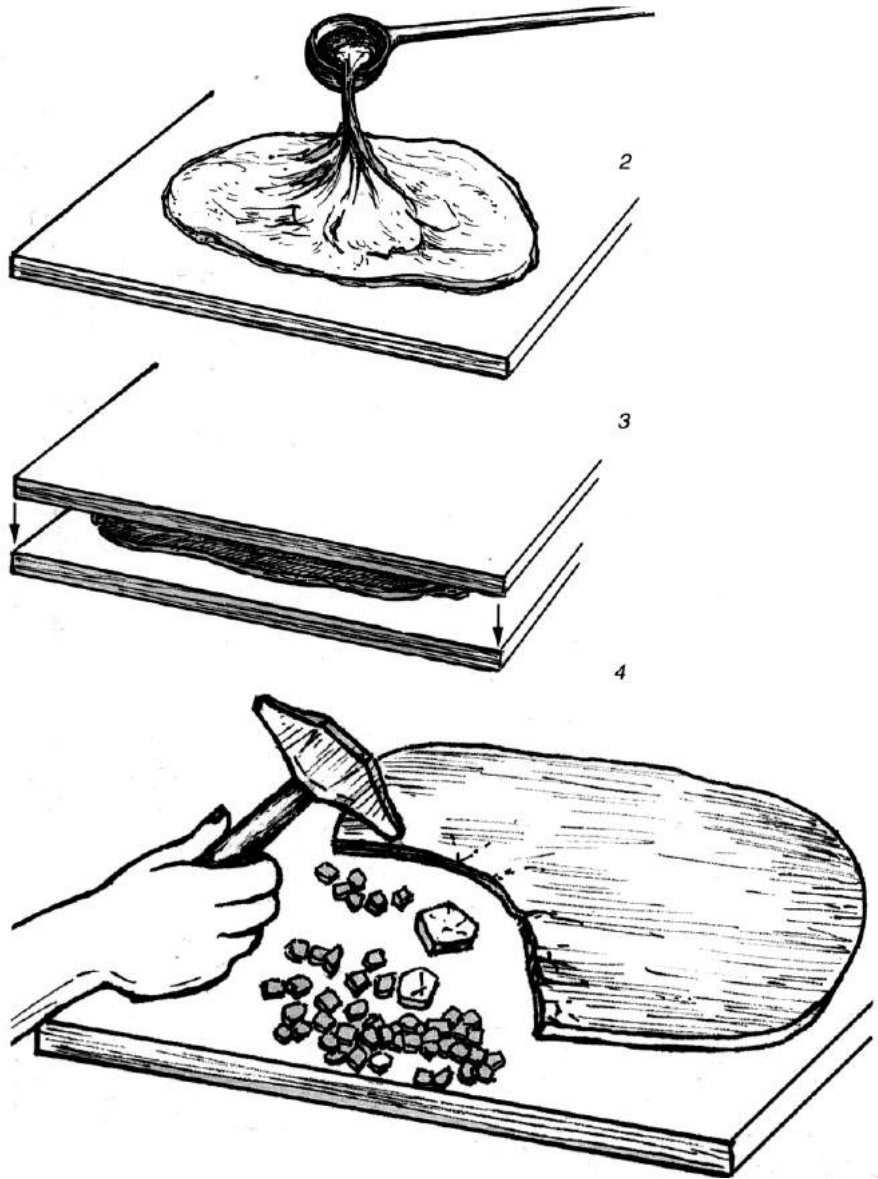
In matrice

Soffiaggio e pressatura



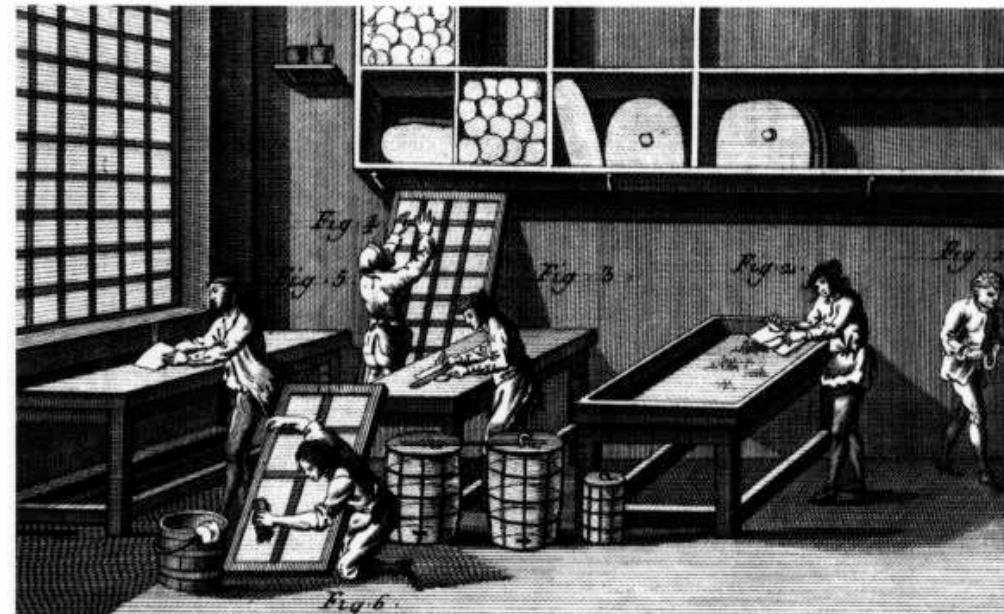
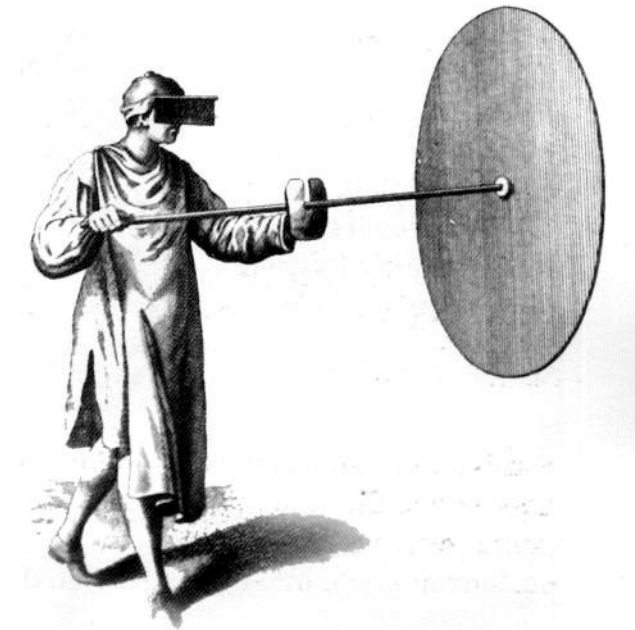
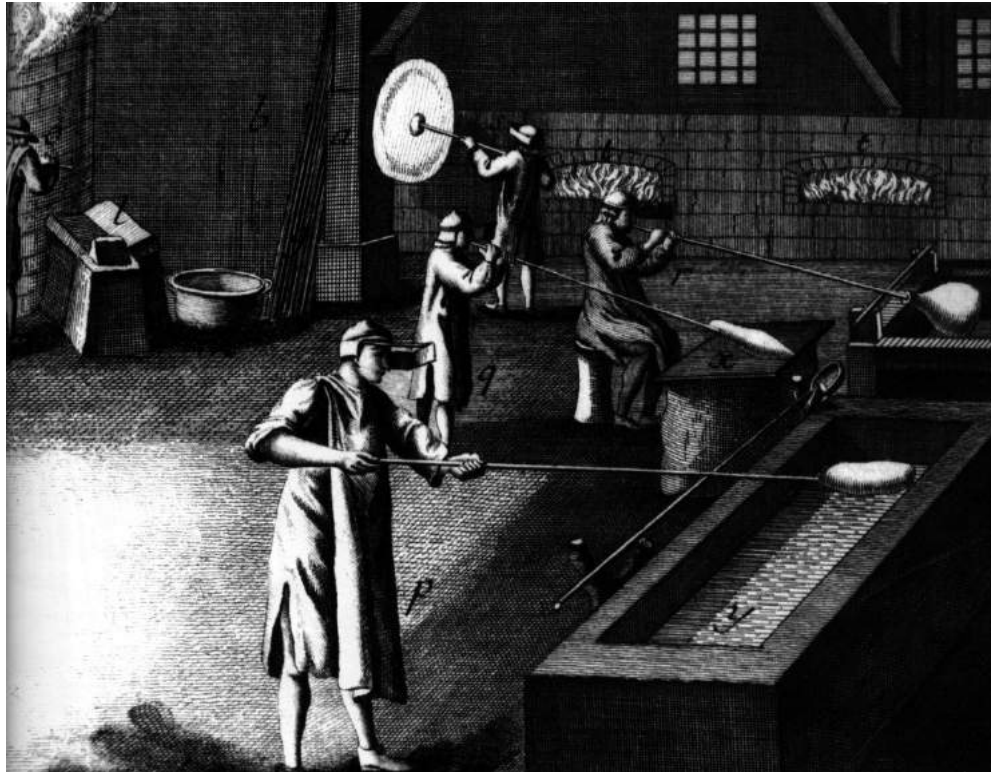
Tecnologie produttive

Produzione tessere musive



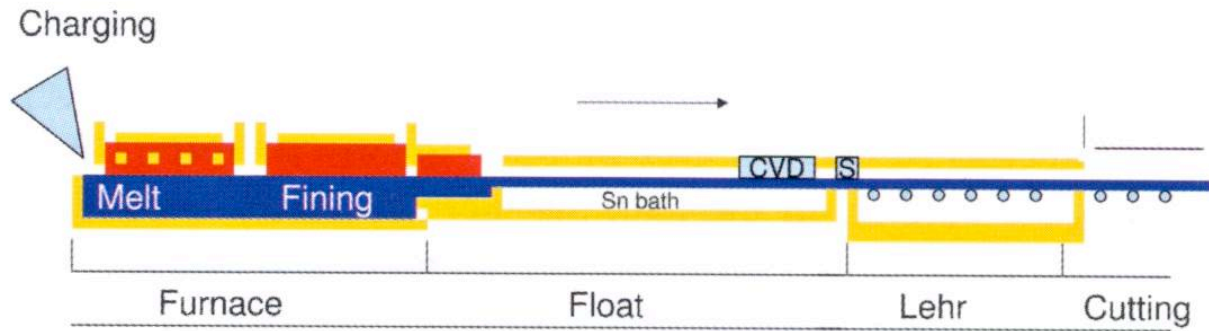
Tecnologie produttive

Produzione di lastre piane



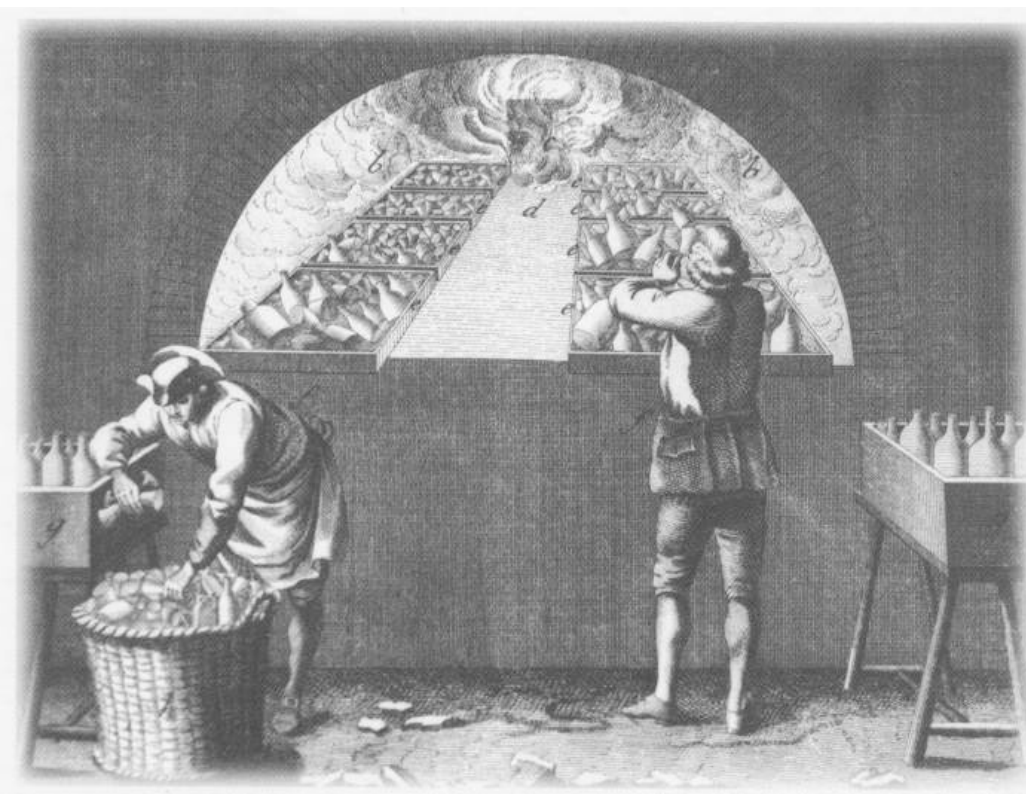
Tecnologie produttive

Produzione di lastre piane: il processo *float* (1959)



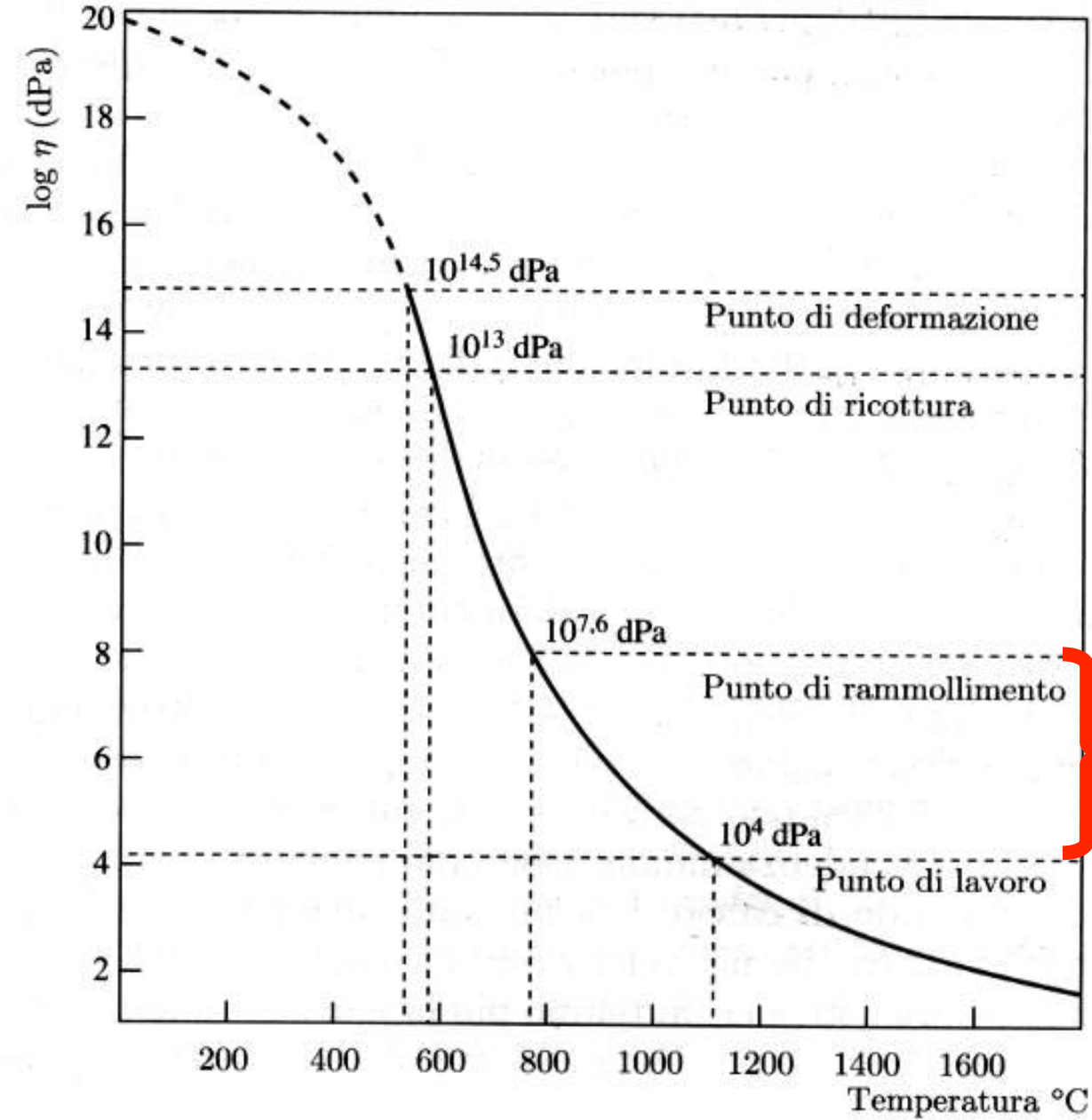
Tecnologie produttive

4: Tempera



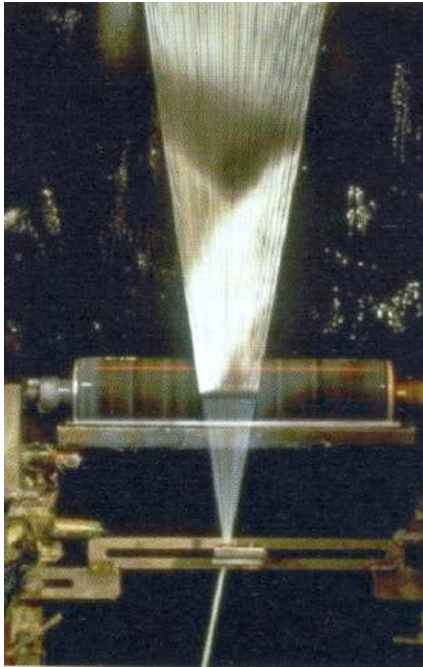
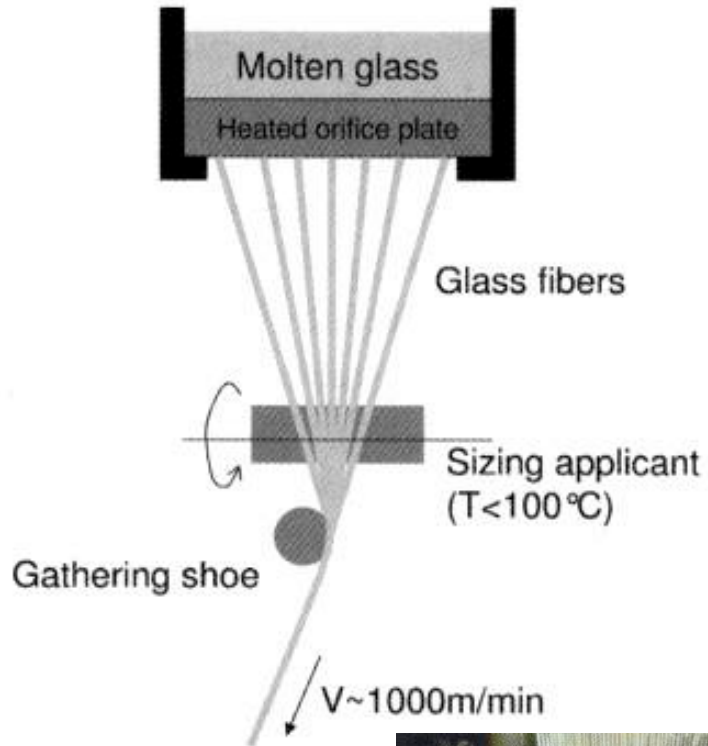
Vetro	Composizione %								
	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	BaO	PbO	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Vetro di quarzo	99,5								
Vetro al 96 % di SiO ₂	96,3	<0,2	<0,2					2,9	0,4
Vetro sodico calcico da lastre	71-73	12-14		10-12	1-4				0,5-1,5
Vetro al Piombo	63	7,6	6	0,3	0,2		21	0,2	0,6
Vetro ad alto tenore di piombo	35		7,2				58		
Vetro borosilicato (Pyrex)	80,5	3,8	0,4					12,9	2,2
Vetro allumino- silicato	57	1,0		5,5	12			4	20,5

Viscosità

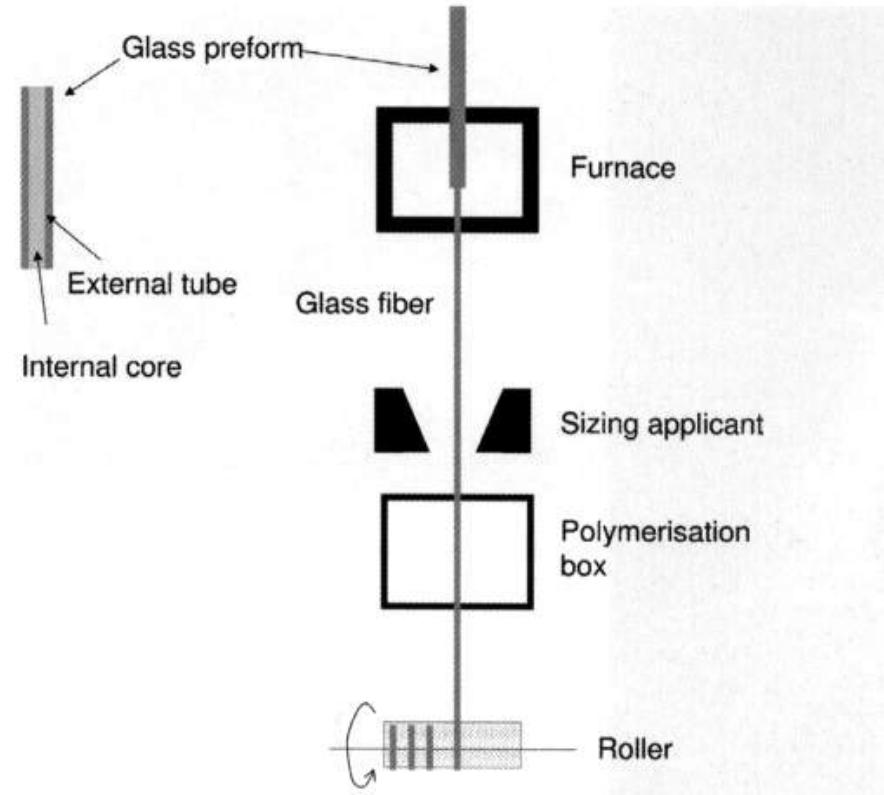


Intervallo di Lavorazione

Sviluppi recenti

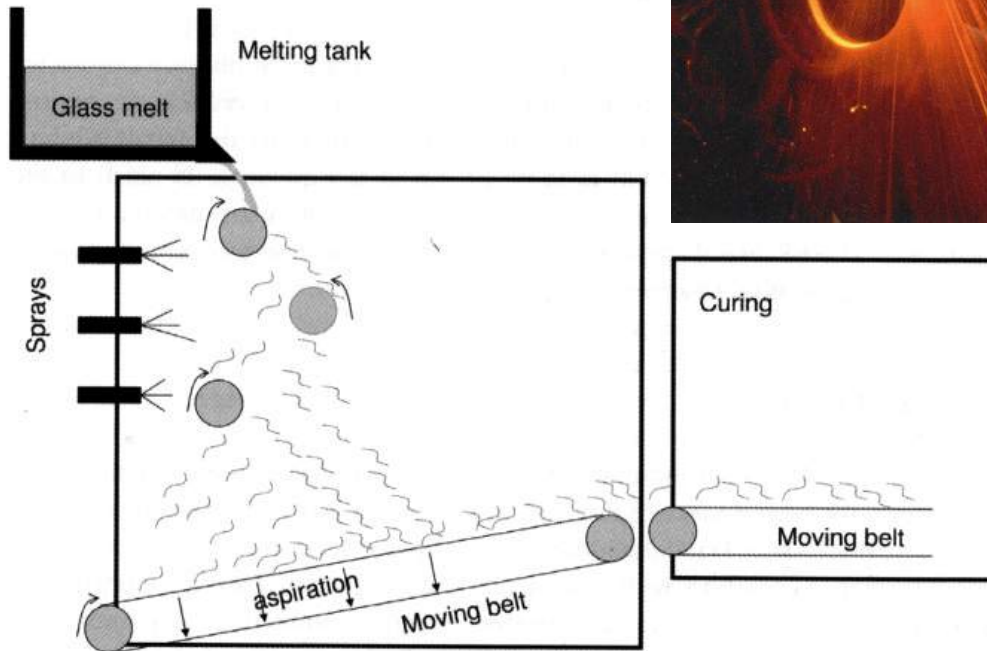


Fibre di vetro



Fibre Ottiche

Sviluppi recenti



Lana di vetro