

Supplementary materials

Table S1 CR sample locations, labels and thickness.

latitude	longitude	location	labels from bottom to top	thickness
43°08'11" N	13°53'29" E	Camporotondo	CR-1, CR-2-bottom, CR-2-middle, CR-2-top, CR-3-bottom, CR-3-top, CR-4, CR-5, CR-5a, CR-6, CR-7, CR-8, CR-9, CR-10, CR-11	~ 170 cm

Table S2 Sites of VRL5.5 reported in previous studies.

location	label	encasing formation	reference
Bisenti	B	Laga Fm., post-evaporitic member	Trua et alii, 2010
Civitella del Tronto	CV	Laga Fm., post-evaporitic member	Trua et alii, 2010
Colle Gallo	CG	Laga Fm., post-evaporitic member	Trua et alii, 2010; Carloni et alii, 1974
Amandola	A	Laga Fm., post-evaporitic member	Guerrera et alii, 1986
Camporotondo	CR	Laga Fm., post-evaporitic member	Trua et alii, 2010; Carloni et alii, 1974; Bassetti et alii, 1994
Maccarone	M	San Donato Fm.	Trua et alii, 2010; Carloni et alii, 1974; Bassetti et alii, 1994
Calcinelli	A	San Donato Fm.	Guerrera et alii, 1986
Santa Marina	SM	San Donato Fm.	Trua et alii, 2010
Casteldimezzo	CM	San Donato Fm.	Trua et alii, 2010
Piavola	P	Di Tetto Fm.	Trua et alii, 2010; Cremonini and Farabegoli, 1982; Roveri et alii, 1998
Campea	C	Di Tetto Fm.	Trua et alii, 2010; Cremonini and Farabegoli, 1982
Serredi quarry	SQ	Argille e gessi del Fiume Era Morta Fm. SQ	Aldinucci et alii, 2005

Table S3. Bulk compositions of selected samples rich in volcanic phases.

major oxides (wt.%)	CR-1	CR-3-top	CR-11	average	st. dev.
SiO ₂	66,5	66,5	61,3	64,8	3,0
TiO ₂	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1
Al ₂ O ₃	12,4	11,9	12,2	12,2	0,2
Fe ₂ O ₃	1,4	0,9	1,3	1,2	0,3
FeO	1,3	1,4	1,5	1,4	0,1
MnO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MgO	1,7	1,4	1,9	1,7	0,3
CaO	2,3	2,5	5,3	3,4	1,7
Na ₂ O	2,8	2,9	2,2	2,6	0,4
K ₂ O	2,6	2,5	2,5	2,5	0,0
alkalis	5,3	5,4	4,7	5,1	0,4
tot	91,1	90,2	88,5	89,9	1,3

CO ₂	1,3	1,8	3,4	2,2	1,1
H ₂ O-	1,3	0,9	1,3	1,2	0,2
H ₂ O+	6,6	6,4	6,1	6,4	0,3
H ₂ O	7,9	7,3	7,4	7,5	0,3
S	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
CO ₂ +H ₂ O+S	9,3	9,1	10,9	9,8	1,0
major oxides + CO ₂ +H ₂ O+S	100,3	99,3	99,4	99,7	0,6
LOI	9,5	9,5	11,4	10,1	1,1
major oxides + LOI	100,6	99,6	99,9	100,0	0,5

Footnotes: H₂O- is moisture, determined at 105 °C; H₂O+ is structural water, determined at 1000 °C; LOI = Loss of Ignition.

Table S4. Trace elements from bulk analysis of selected CR samples and literature (where available).

trace elements (ppm)	this study				Trua et alii, 2010					Aldinucci et alii, 2005
	CR-1	CR-3 top	CR-11	CAC-3b	P	SM	CM	M16	CR	SQ
Be	3	4	3	3	-	-	-	-	-	8
Sc	5	6	6	7	-	-	-	-	-	4
V	8	14	8	15	7	11	24	6	21	2
Cr	< 20	50	< 20	< 20	-	-	-	-	-	2
Co	2	2	< 1	2	-	-	-	-	-	0
Ni	6	29	2	7	-	-	-	-	-	-
Cu	22	26	23	20	-	-	-	-	-	9
Zn	78	89	77	107	-	-	-	-	-	-
Ga	16	17	17	17	-	-	-	-	-	21
Ge	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-
As	46	34	34	35	-	-	-	-	-	-
Rb	134	143	78	72	60	160	142	167	100	293
Sr	438	700	2470	2833	107	138	351	147	171	16
Y	25	27	26	25	25	28	26	31	28	52
Zr	101	161	149	123	152	139	190	104	129	216
Nb	7	9	7	8	nd	nd	10	8	nd	14
Mo	< 2	< 2	< 2	< 2	-	-	-	-	-	-
Ag	< 0,5	0,6	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-
Cd	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-	-	-	-	-
In	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-	-	-	-	-
Sn	9	9	8	9	-	-	-	-	-	-
Sb	4,2	2,8	2,9	4,1	-	-	-	-	-	-
Cs	19,1	20,6	14,8	12,5	17	24	15	20	21	49
Ba	425	532	428	345	384	683	524	661	426	297
La	42,7	44,5	42,4	39,6	48	46	40	45	50	60
Ce	84,9	88,0	82,3	76,5	84	79	80	87	90	126
Pr	9,18	9,62	9,21	8,70	nd	nd	9	9	nd	14
Nd	32,2	34,0	32,8	30,7	29	25	31	33	30	50
Sm	6,2	6,8	6,6	6,2	6	6	6	7	6	10
Eu	0,43	0,53	0,52	0,57	1	1	1	nd	1	0
Gd	5,2	5,4	5,5	5,3	nd	nd	5	6	nd	8
Tb	0,8	0,9	0,8	0,8	1	1	1	1	1	1
Dy	4,8	5,2	5,1	4,9	nd	nd	5	6	nd	8

Ho	0,9	1,0	0,9	0,9	nd	nd	1	1	nd	2
Er	2,7	2,8	2,8	2,6	nd	nd	3	3	nd	5
Tm	0,39	0,43	0,40	0,41	nd	nd	nd	nd	nd	1
Yb	2,6	2,8	2,5	2,5	3	3	3	3	3	5
Lu	0,39	0,42	0,37	0,35	nd	nd	nd	nd	nd	1
Hf	3,8	5,1	4,7	4,1	4	4	6	4	4	8
Ta	1,0	1,0	1,0	0,9	1	1	1	1	1	2
W	5	5	24	3	-	-	-	-	-	-
Tl	0,7	0,8	0,5	0,6	-	-	-	-	-	3
Pb	70	80	59	76	78	55	49	83	90	59
Bi	0,4	< 0,4	0,4	0,6	-	-	-	-	-	-
Th	24,4	23,8	22,6	21,4	24	24	19	22	26	51
U	6,6	6,1	6,1	5,9	7	6	7	7	7	14

Table S5 Micro-chemical composition of glassy matrixes determined by EPMA (raw data)

major oxides (wt.%)	this study										Trua et alii, 2010					Carloni et alii, 1974			Guerrera et alii, 1986				Aldinucci et alii, 2005	
	CR																							
	CR-1 (10)	CR-2-bot- tom (14)	CR-2- top (12)	CR-3- top (10)	CR-5 (8)	CR-7 (13)	CR-9 (16)	CR-11 (8)	average	P (18)	SM (35)	CM (2)	M16 (5)	CR (10)	CG	M	CR	A (Log45)	CA (Log46)	SQ				
SiO ₂	73,0 (4)	73,0 (6)	72,8 (6)	73,0 (7)	73,2 (6)	72,9 (9)	73,1 (1)	72,1 (6)	72,9 (3)	72,3 (7)	71,9 (1)	71,7 (0)	71,4 (5)	71,9 (2)	70,3	70,6	70,6	73,1	70,8	71,4	70,5	64,8	73,8	
TiO ₂	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	
Al ₂ O ₃	12,3 (1)	12,4 (3)	12,3 (4)	12,5 (4)	12,0 (3)	12,0 (4)	12,2 (3)	11,9 (3)	12,2 (2)	12,4 (3)	12,7 (2)	12,7 (0)	12,7 (1)	12,6 (0)	13,5	13,6	13,4	12,9	13,7	13,3	12,5	14,4	15,5	
FeO	1,2 (1)	1,2 (1)	1,2 (2)	0,9 (1)	1,1 (1)	1,2 (1)	1,3 (2)	1,2 (1)	1,2 (1)	1,2 (1)	1,1 (1)	1,2 (1)	1,1 (0)	1,1 (1)	0,4	0,3	0,2	1,2	1,2	0	0	1,5	2,2	
MnO	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,1 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,1 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,1 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	
MgO	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,0 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,0 (0)	0,4	0,4	0,4	0,1	0,1	0	0,1	1,0	0,2	
CaO	0,7 (0)	0,7 (1)	0,7 (1)	0,7 (0)	0,7 (0)	0,8 (0)	0,8 (1)	0,7 (0)	0,7 (0)	0,7 (1)	0,8 (1)	0,8 (0)	0,8 (0)	0,7 (0)	1,0	0,9	0,8	0,7	1,0	0,8	3,2	2,3	1,2	
Na ₂ O	3,9 (1)	3,9 (2)	3,7 (3)	4,7 (2)	3,8 (2)	3,8 (2)	3,9 (1)	4,0 (3)	4,0 (3)	3,3 (3)	3,2 (3)	3,4 (1)	3,4 (2)	3,6 (2)	4,0	3,7	4,1	1,9	2,2	2,6	1,3	2,3	2,8	
K ₂ O	2,4 (2)	2,5 (2)	2,4 (5)	2,2 (2)	2,3 (1)	2,4 (1)	2,4 (2)	2,5 (2)	2,4 (1)	2,3 (1)	3,6 (2)	3,2 (0)	4,2 (3)	2,3 (2)	2,9	3,2	2,5	2,3	2,5	2,6	1,3	4,2	3,8	
alkalis	6,3 (3)	6,4 (4)	6,2 (4)	7,0 (4)	6,1 (2)	6,1 (3)	6,3 (3)	6,5 (4)	6,4 (3)	5,5 (2)	6,8 (2)	6,6 (1)	7,6 (2)	5,9 (2)	6,9	6,9	6,5	4,2	4,7	5,1	2,6	6,5	6,6	
tot FeO	93,7 (6)	94,0 (9)	93,4 (6)	94,3 (13)	93,4 (5)	93,3 (7)	93,9 (8)	92,8 (7)	93,6 (5)	92,4 (3)	93,5 (7)	93,2 (3)	93,8 (7)	92,5 (4)	92,6	92,8	92,1	92,4	91,6	90,7	88,7	90,8	100	

Footnotes: in brackets with the oxide value the standard deviation. Fe₂O₃ is a recalculation from FeO , as a ratio by atomic weights (Fe₂O₃=FeO*1,1111). Values for Aldinucci et alii, 2005 should be a dry recalculation, even if not specified in the original paper.

Table S6. Micro-chemical composition of glassy matrixes determined by EPMA (100wt% dry recalculation).

major ox- ides (wt.%)	this study										Trua et alii, 2010					Carlioni et alii, 1974			Guerrera et alii, 1986				Aldinucci et alii, 2005
	CR																						
	CR-1 (10)	CR-2-bot- tom (14)	CR-2-top (12)	CR-3- top (10)	CR-5 (8)	CR-7 (13)	CR-9 (16)	CR-11 (8)	aver- age	P (18)	SM (35)	CM (2)	M16 (5)	CR (10)	CG	M	CR	A (Log45)	CA (Log46)		SQ		
SiO ₂	77,9 (2)	77,6 (5)	77,9 (8)	77,4 (7)	78,3 (5)	78,1 (7)	77,8 (7)	77,7 (6)	77,8 (3)	78,2 (7)	76,9 (5)	77,0 (2)	76,1 (2)	77,7 (4)	75,1	75,2	75,5	79,2	77,3	78,7	79,4	71,4	73,8
TiO ₂	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (1)	0,1 (1)	0,1 (0)	0,1 (1)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
Al ₂ O ₃	13,1 (1)	13,2 (2)	13,2 (4)	13,3 (3)	12,9 (3)	12,9 (4)	13,0 (4)	12,9 (3)	13,0 (2)	13,4 (4)	13,6 (2)	13,6 (0)	13,5 (1)	13,6 (2)	14,5	14,5	14,3	14,0	14,9	14,6	14,0	15,8	15,5
FeO	1,2 (1)	1,3 (1)	1,3 (2)	1,0 (1)	1,2 (1)	1,3 (1)	1,4 (2)	1,3 (1)	1,2 (1)	1,3 (1)	1,2 (1)	1,3 (1)	1,2 (1)	1,2 (1)	1,4	1,5	1,7	1,3	1,3	0,0	0,1	1,6	2,2
MnO	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,1 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,1 (0)	0,0 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
MgO	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,1 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,1 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	0,4	0,4	0,4	0,1	0,2	0,0	0,1	1,1	0,2
CaO	0,8 (0)	0,8 (1)	0,8 (1)	0,7 (1)	0,8 (0)	0,8 (1)	0,9 (2)	0,8 (1)	0,8 (0)	0,8 (1)	0,8 (1)	0,8 (0)	0,8 (0)	0,8 (0)	1,0	0,9	0,9	0,8	1,1	0,8	3,6	2,6	1,2
Na ₂ O	4,1 (1)	4,2 (2)	4,0 (3)	5,0 (2)	4,0 (2)	4,0 (2)	4,1 (2)	4,3 (3)	4,2 (3)	3,5 (3)	3,4 (3)	3,7 (1)	3,6 (2)	3,9 (2)	4,3	3,9	4,3	2,1	2,4	2,8	1,5	2,6	2,8
K ₂ O	2,6 (2)	2,7 (3)	2,6 (5)	2,4 (2)	2,5 (1)	2,5 (1)	2,6 (2)	2,7 (2)	2,6 (1)	2,5 (1)	3,8 (2)	3,4 (1)	4,5 (3)	2,5 (3)	3,1	3,4	2,6	2,5	2,7	2,8	1,4	4,7	3,8
alka- lis	6,7 (3)	6,9 (4)	6,6 (4)	7,4 (4)	6,5 (2)	6,6 (3)	6,7 (3)	7,0(4)	6,8 (3)	6,0 (3)	7,2 (5)	7,1 (2)	8,1 (5)	6,4 (5)	7,3	7,3	7,0	4,6	5,1	5,7	2,9	7,2	6,6
tot FeO	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Table S7. Micro-chemical composition of a Dumfriesshire augite from the Micro-Analysis Consultant, run as a standard, de-termined by EPMA.

major. oxides (wt.%)	augite 01	augite 02	augite 03	augite 04	augite 05	augite 06	augite 07	augite 08	augite 09	augite 10	augite 11	augite 12	augite 13	augite 14	augite 15	augite 16	average (st.dev.)
SiO ₂	47,2	47,8	47,5	47,8	47,4	47,8	47,5	48,0	47,4	48,1	47,7	47,9	48,2	48,1	47,9	47,8	47,7 (3)
TiO ₂	1,2	1,1	1,2	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1	1,3	1,2	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1 (1)
Al ₂ O ₃	7,3	7,8	7,5	7,3	7,3	7,4	7,4	7,2	7,4	7,0	7,3	7,3	6,6	6,6	6,5	6,8	7,2 (4)
FeO	7,7	7,8	7,4	7,5	7,6	7,4	7,7	7,9	7,7	7,5	7,6	7,7	7,4	7,3	7,5	7,6	7,6 (2)
MnO	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1 (0)
MgO	13,9	13,7	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	13,7	14,0	14,0	13,9	14,2	14,0	14,0	13,9	13,9	13,9 (2)
CaO	22,0	22,0	22,3	22,3	22,3	21,9	22,4	22,2	22,0	21,9	22,3	22,0	22,5	22,4	22,5	22,3	22,2 (2)
Na ₂ O	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5 (1)
K ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0 (0)
tot FeO	99,9	100,7	100,0	100,1	100,1	100,1	100,7	100,7	100,4	100,6	100,7	100,6	100,3	100,1	100,0	100,4	100,3 (3)

Table S8. Grain-size statistical parameters derived from image analysis.

parameter	CR-1	CR-2-bottom	CR-2-top	CR-3-top	CR-5	CR-7	CR-9	CR-11	average(st. dev.)
M _z	5,85	5,87	5,71	5,68	5,60	5,61	5,66	5,78	5,72(9)
σ _i	0,67	0,58	0,66	0,71	0,85	0,81	0,66	0,66	0,70(9)
SK _i	-0,18	-0,15	-0,12	-0,15	-0,20	-0,18	-0,12	-0,14	-0,16(3)
K _G	1,00	0,97	0,86	1,00	1,05	0,93	0,88	0,99	0,96(7)

Footnotes: M_z graphic mean; σ_i inclusive graphic standard deviation; SK_i inclusive graphic skewness; K_G graphic kurtosis as reported in [Baiyegunhi et alii, 2017](#), [Merico et alii, 2020](#). Numbers in brackets are standard deviations. $M_z = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}) / 3$; $\sigma_i = [(\Phi_{84} - \Phi_{16}) / 4] + [(\Phi_{95} - \Phi_5) / 6.6]$; $SK_i = \{(\Phi_{84} + \Phi_{16} - 2\Phi_{50}) / [2(\Phi_{84} - \Phi_{16})]\} + \{(\Phi_{95} + \Phi_5 - 2\Phi_{50}) / [2(\Phi_{95} - \Phi_5)]\}$; $K_G = (\Phi_{95} - \Phi_5) / [2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})]$.

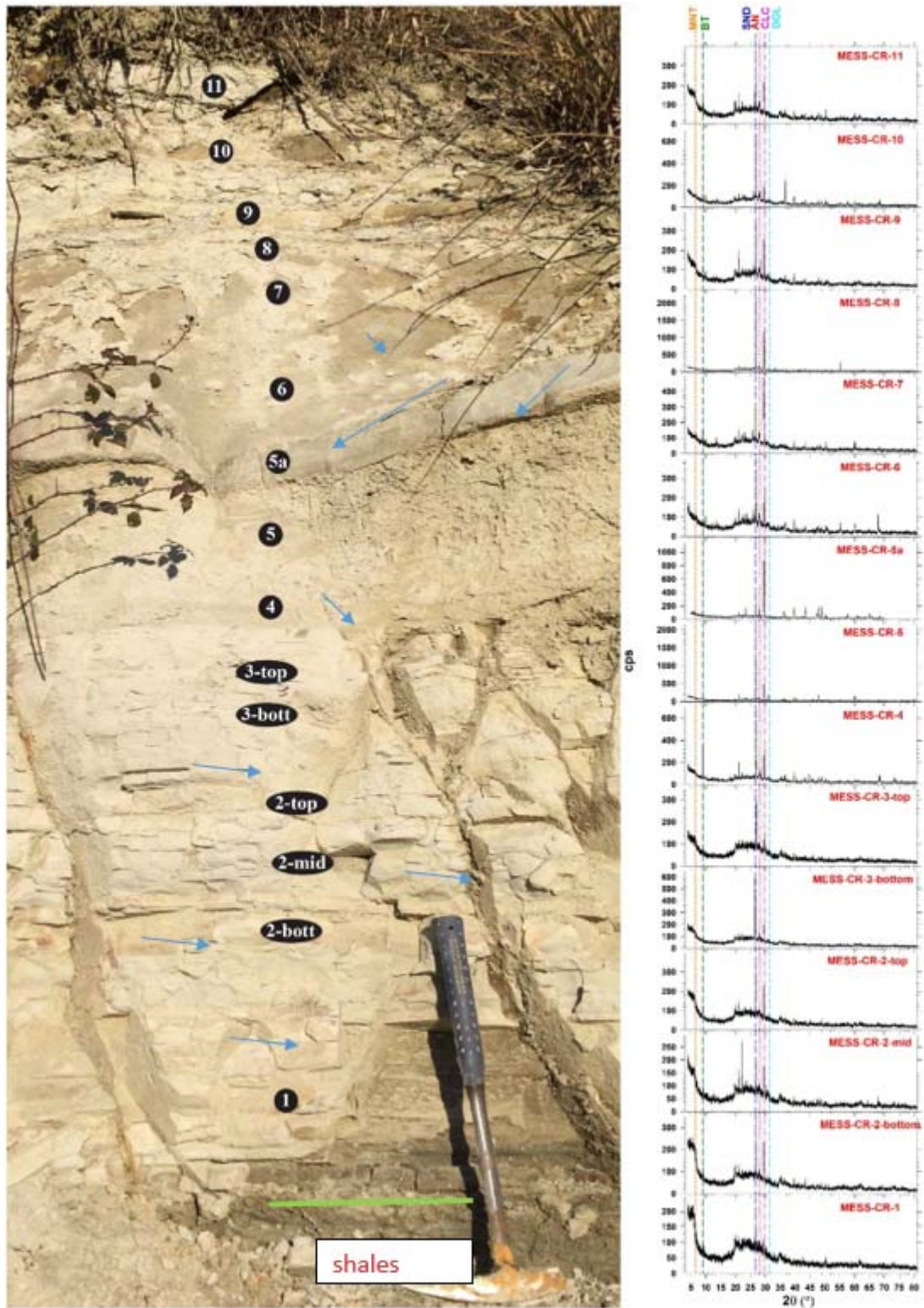


Figure S1 An enlarged and detailed field view and specimens of the CR outcrop, with all the 15 specimens and 15 XRPD patterns.

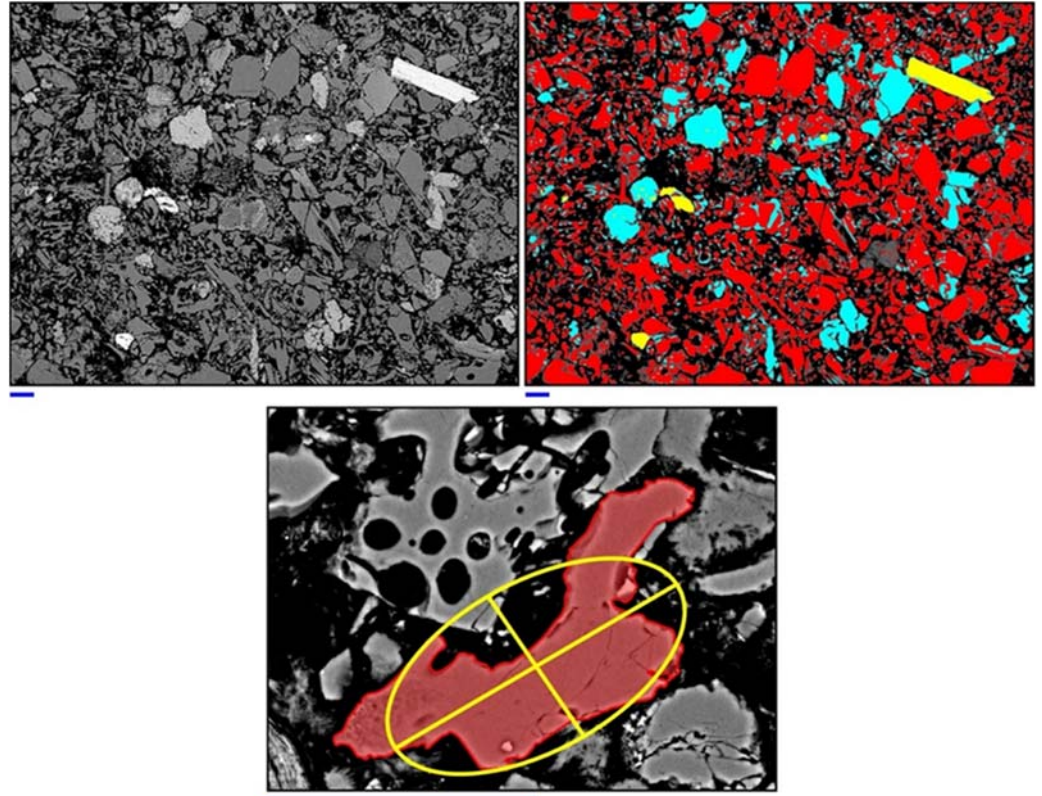


Figure S2. Example of image analysis on two representative samples. From left to right and up to down: BS-SEM microphotographs, segmentation in false colours and textural measurements of single objects. The false colours red, cyan and yellow corresponds to glass, carbonates and crystals, respectively. The collected textural measures concern the angle between the major axis and the horizontal, area, aspect ratio (as major axis/minor axis), perimeter, length of the major and minor axes, roundness (right column). The blue bars correspond to 50 μm . che crystals sono?