



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
OCEANOGRAFIA FÍSICA, QUÍMICA E GEOLÓGICA
EROSÃO E PROTEÇÃO COSTEIRA



BALANÇO SEDIMENTAR NA LAGOA DE VENEZA - ITÁLIA

Sediment budget in the Lagoon of Venice, Italy

A. Sarretta^{a,1}, S. Pillon^b, E. Molinaroli^c, S. Guerzoni^{a,*}, G. Fontolan^b

^a *CNR-Istituto di Scienze Marine, Riva VII Martiri 1364/A, 30122 Venezia, Italy*

^b *Dipartimento Scienze Geologiche Ambientali e Marine, Università degli Studi — via E. Weiss, 2 — 34127 Trieste, Italy*

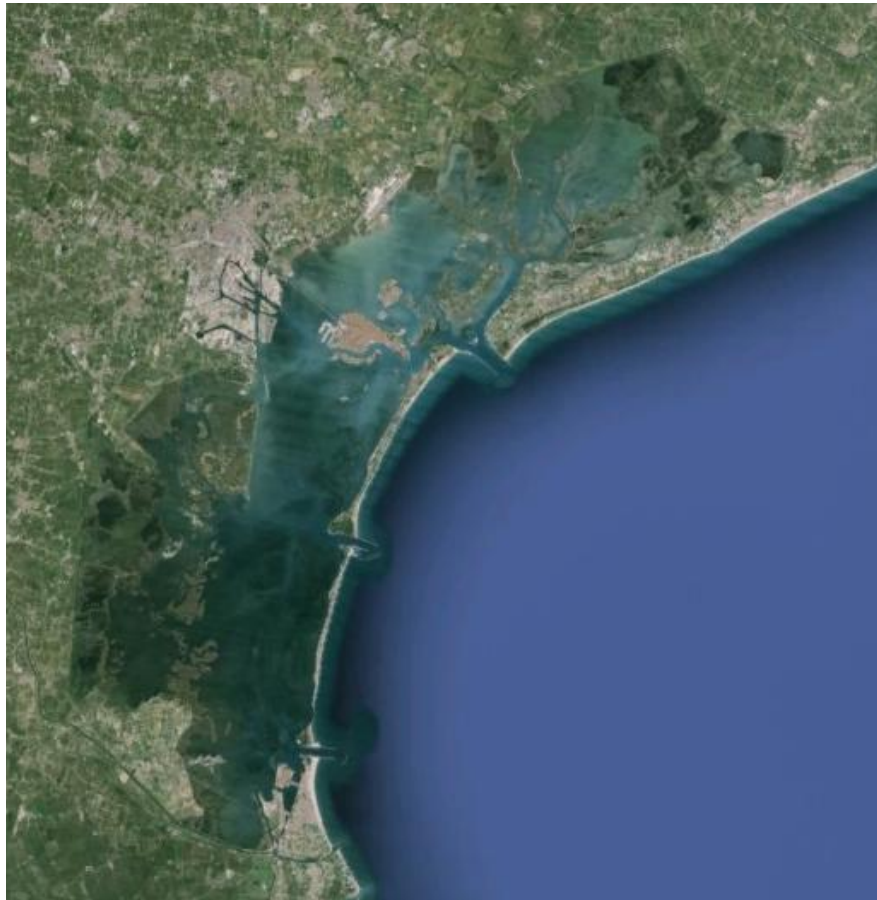
^c *Dipartimento di Scienze Ambientali, Università Ca' Foscari, Dorsoduro 2137, 30123 Venezia, Italy*

Professor: João Nicolodi

Aluna: Natália Lemke

1. INTRODUÇÃO

Lagoa de Venezia - LV



Estudos de 1927 a 2002:

Batimetria

Deposição

Erosão

Análises computacionais

Venice Water Authority

*(Magistrato alle Acque di Venezia,
MAV)*

Hidrografia

Topografia

1. INTRODUÇÃO

A: Treporti

B: Lido

C: Molamocco

D: Chioggia

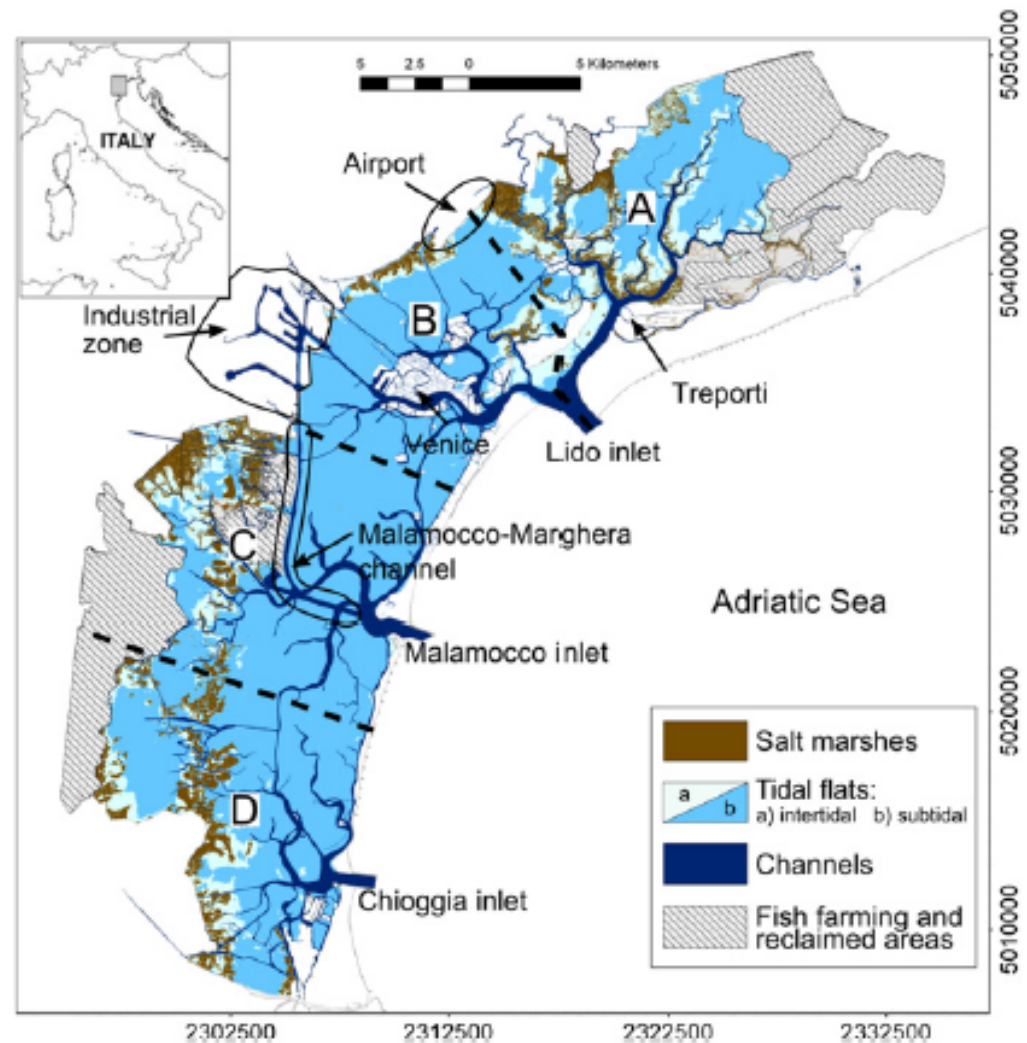


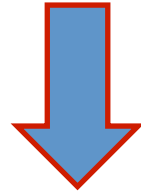
Fig. 1. The Lagoon of Venice and four sub-basins (A-D), separated by broken lines.

2. ÁREA DE ESTUDO

Guerzoni e Tagliapietra, 2006:

Construção de molhes (1808 – 1927)

Dragagem de canais na lagoa (1926 e 1970)



Impactos na morfologia da lagoa

2. ÁREA DE ESTUDO

Day et al., 1998:

A entrada de sedimentos na lagoa tem sido quase completamente eliminada.

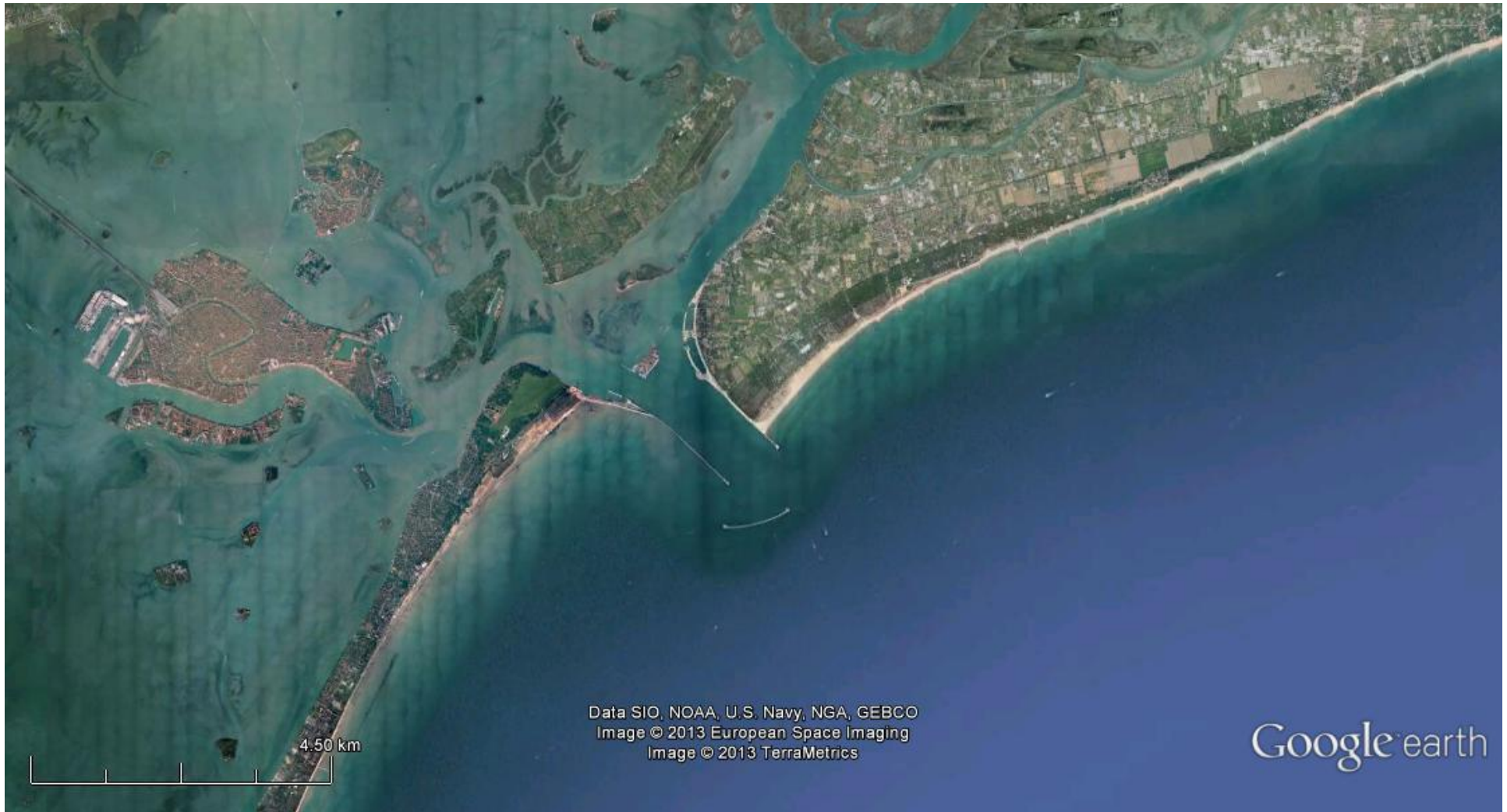
Construção de molhes



Redução da entrada de sedimentos grosseiros marinhos na lagoa

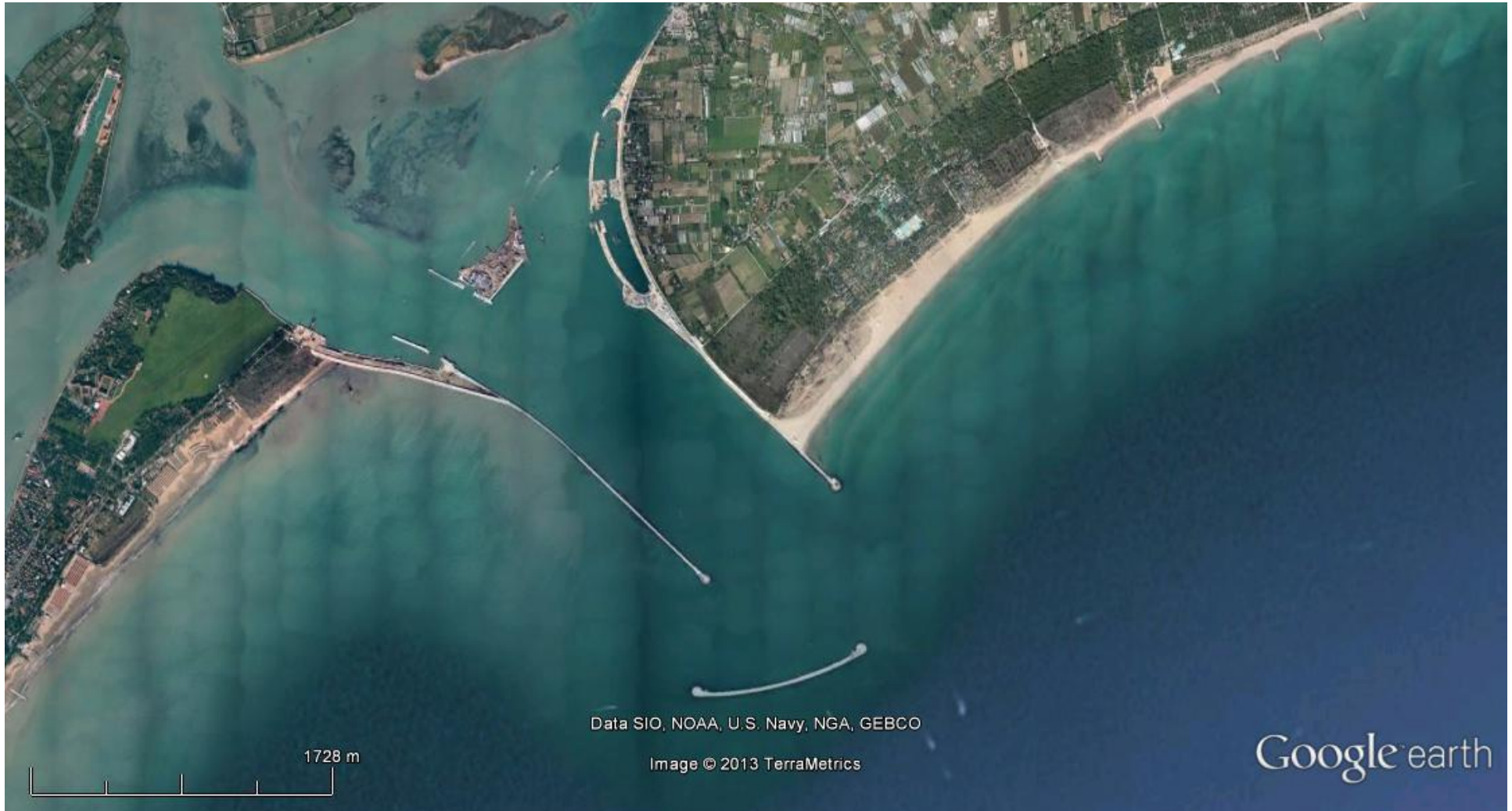
2. ÁREA DE ESTUDIO

Canal de Lido



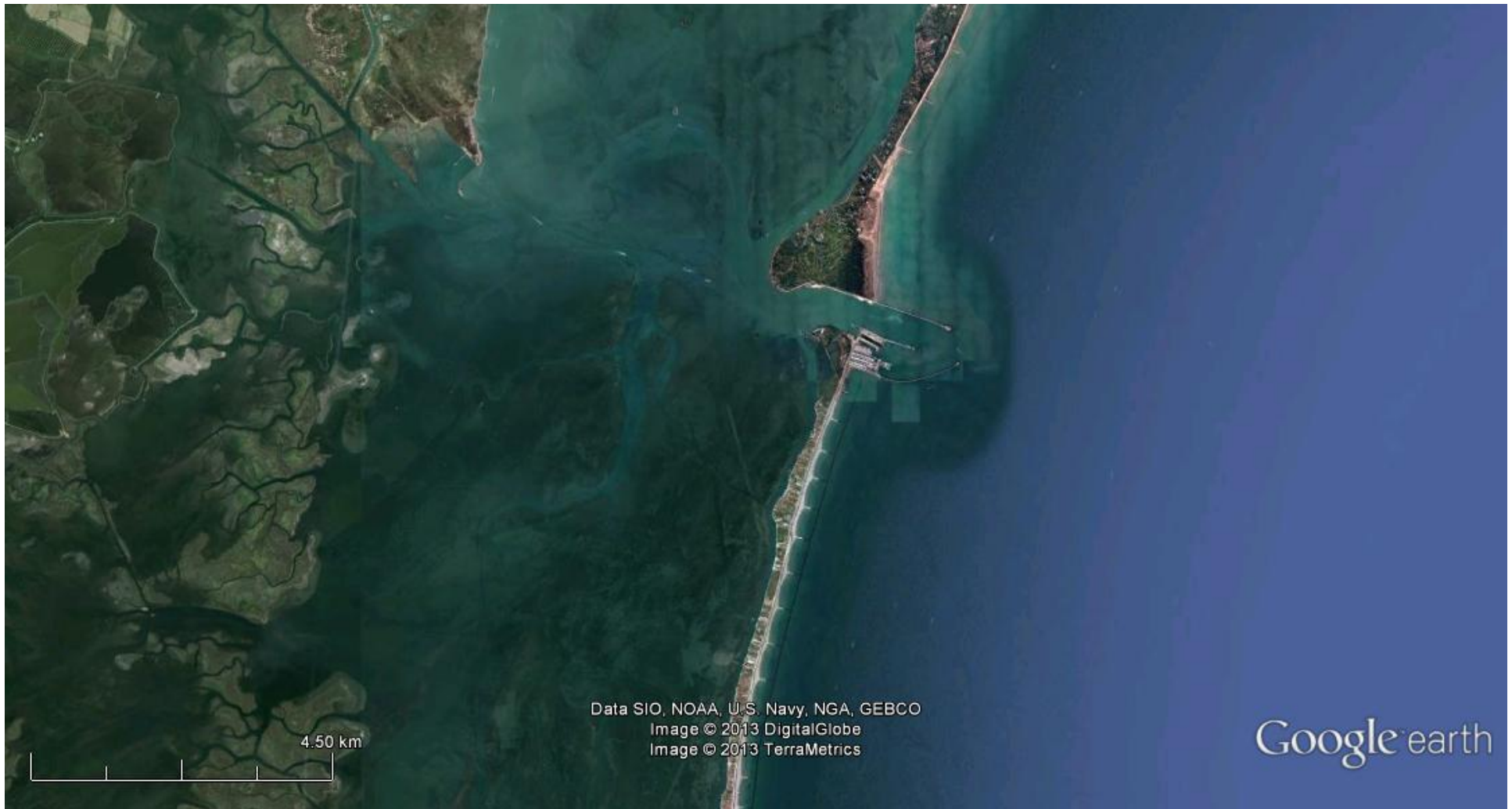
2. ÁREA DE ESTUDO

Canal de Lido



2. ÁREA DE ESTUDIO

Canal de Malamocco



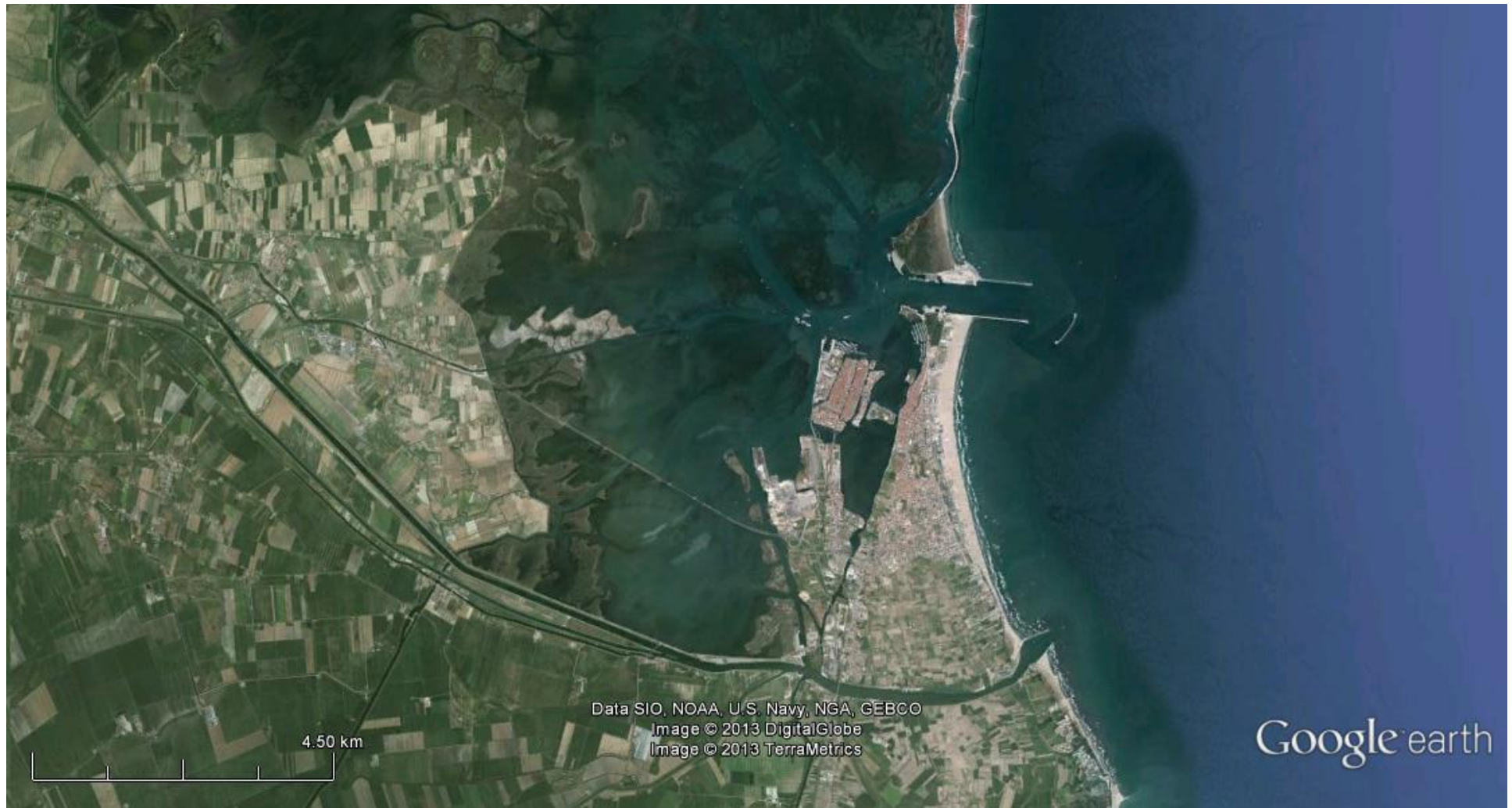
2. ÁREA DE ESTUDO

Canal de Malamocco



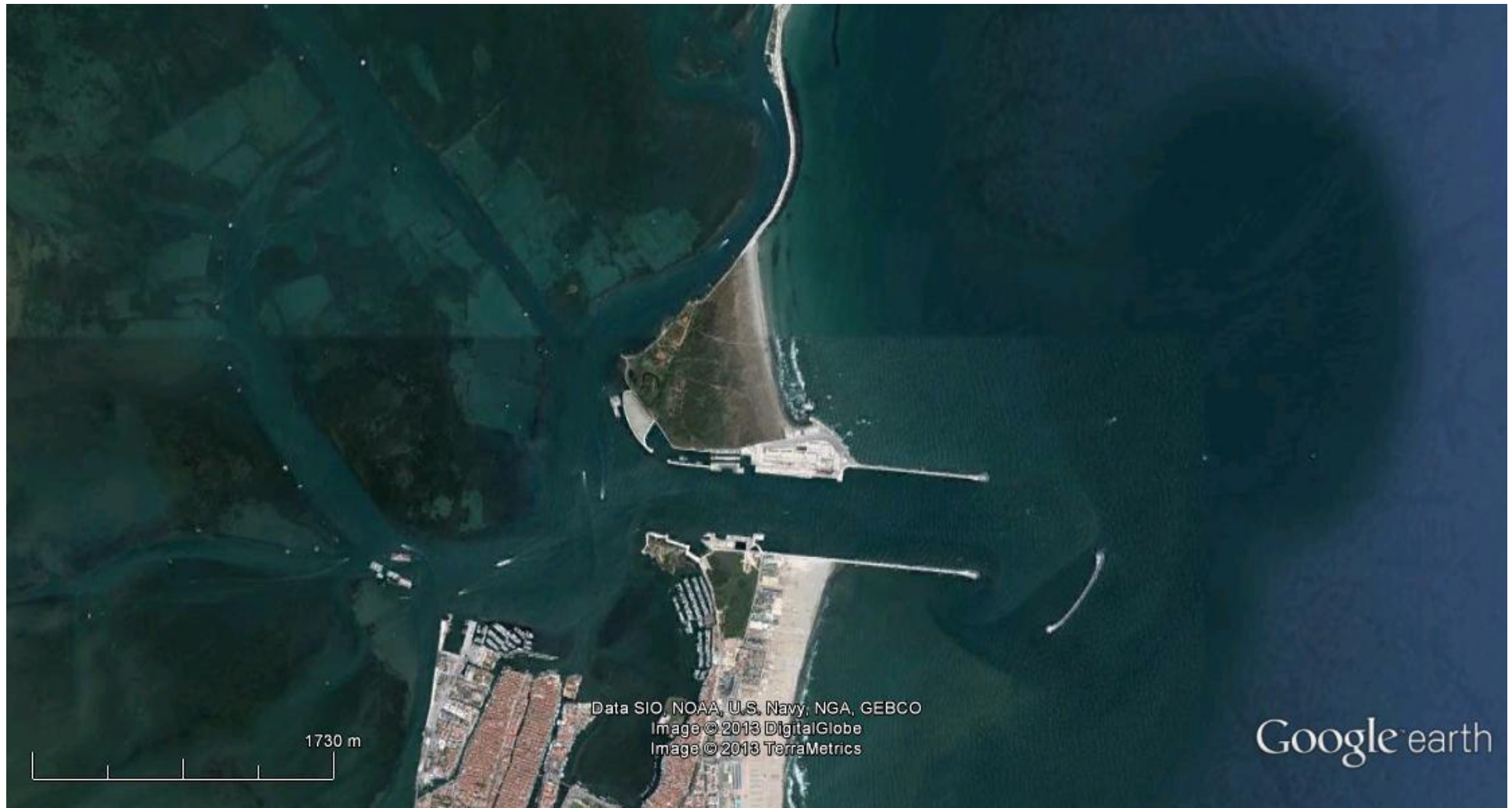
2. ÁREA DE ESTUDO

Canal de Chioggia



2. ÁREA DE ESTUDO

Canal de Chioggia



2. ÁREA DE ESTUDO

Consequências



Erosão e Subsidência



Redução da área de *Saltmarshes*

35 km² (último século)

2. ÁREA DE ESTUDO

Eventos que afetaram estruturas e processos na morfo-batimetria da LV entre 1927 e 2002:

1. Destruição de *Saltmarshes* (1927 a 1960):

Zona industrial	}	(22 km²)
Aeroporto de Veneza		
Desenvolvimento Urbano	}	(5 km²)

2. ÁREA DE ESTUDO

2. Modificação das condições hidrodinâmicas

Dragagem do canal de navegação de Malamocco (1960s):

Mais de 40 Mm³ de material dragado durante o primeiro período do estudo.

3. Aumento de nutrientes e poluentes devido ao crescimento da área industrial (1960s e 1970s)

Milhões de m³ de material com vários níveis de contaminação

Ministério do Meio Ambiente estabeleceu regras para destinação deste material (1990s).

2. ÁREA DE ESTUDO

4. Dragagem na última década do período do estudo

Aproximadamente 1 milhão de m³ por ano de sedimentos foram **dragados**, os quais foram jogados para fora da lagoa ou reutilizados dentro da lagoa.

5. Pesca mecânica (1990s)

Exploração dos bancos recém-formados de moluscos Manila, uma espécie exótica, introduzida na lagoa na década de 1980.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 BATIMETRIA

Mapa batimétrico de 1927 (1922 – 1933)

Medições taqueométricas e sondagens manuais

Mapa batimétrico de 1970 (1968 – 1971)

Ecossonda, taqueometria e análise de estéreo fotogrametrias

Mapa batimétrico de 2002 (final de 1999 – 2003)

Ecossonda, métodos topográficos (GPS), análise de estéreo aerofotografias.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.2 NÍVEL DO MAR DE REFERÊNCIA E CORREÇÕES

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.3 SEDIMENTOLOGIA

Primeira coleta de amostras (1976 – 1978)

Mais de 200 amostras de sedimentos (~ 10 *cm*) foram coletadas com tubos de PVC.

Coletadas realizadas nas planícies de marés (0,1m – 2,4 m).

Segunda coleta de amostras (2002)

Cerca de 140 amostras de sedimentos (~ 8 *cm*) foram coletadas pelo Instituto de Ciências Marinhas de Veneza.

Coletadas realizadas nas planícies de marés (0,1m – 2,4 m).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.4 ANÁLISES

GEO-REFERENCIAMENTO

Processamento de
dados batimétricos



Modelos batimétricos

ArcGis

QGIS-GRASS

TIFs (1927)



Geo-referenciadas
(mapa digital – AutoCad)



Mosaicos

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.4 ANÁLISES

MODELOS BATIMÉTRICOS

Triangulated Irregular Network (TIN)  Interpolação

Categorias:

Saltmarshes

Planícies de marés

Canais

ERRO: entre as áreas interpoladas.

CORREÇÃO DOS ERROS: Validação do modelo.


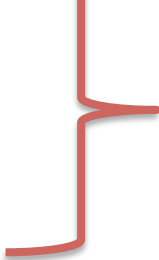


3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.4 ANÁLISES

MODELOS BATIMÉTRICOS

Grades: células de **10 m**.

Saltmarshes:

1927		0,24 m		Variação do volume
1970		0,22 m		
2002		0,30 m		

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Mapa batimétrico

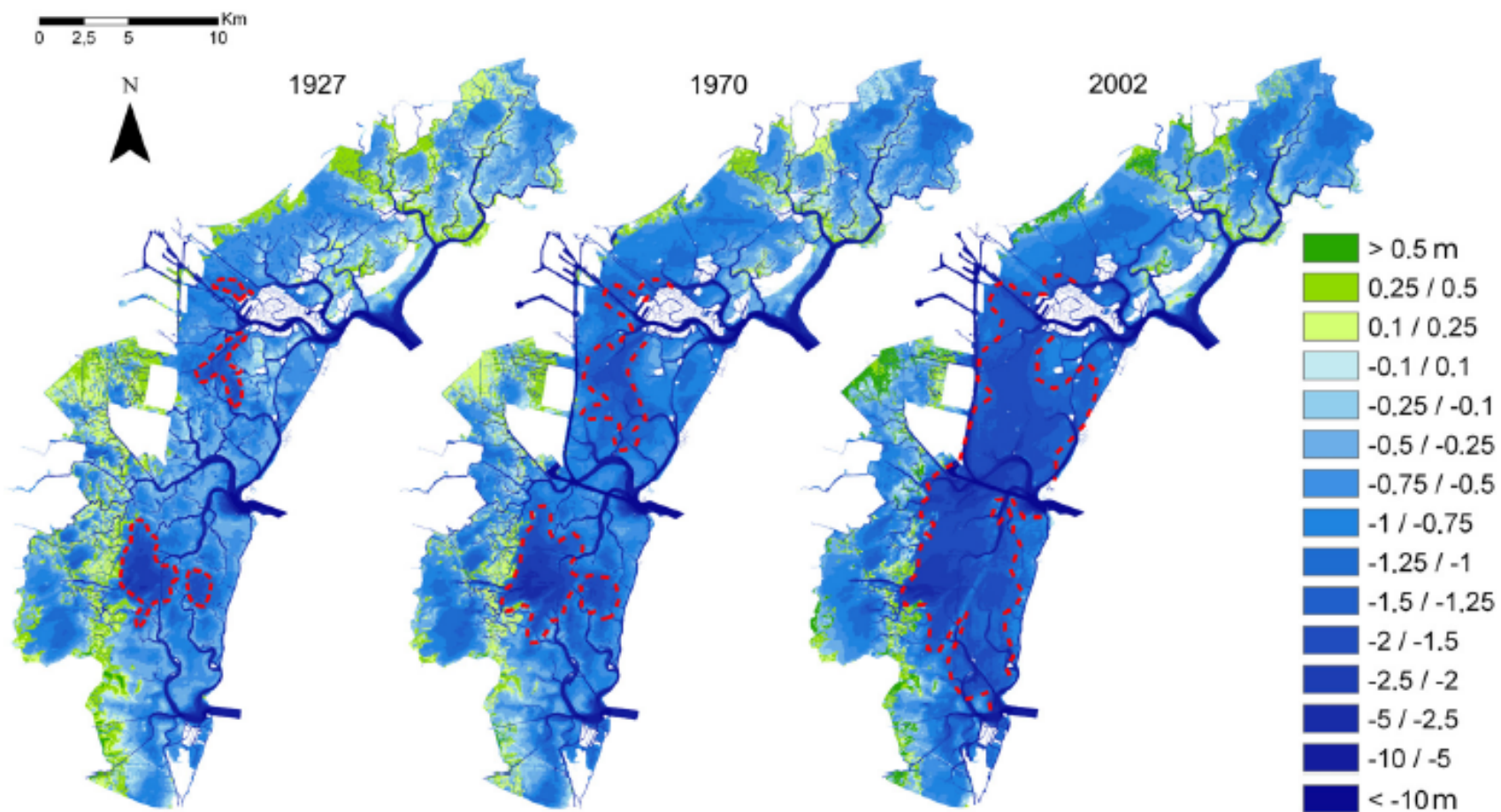
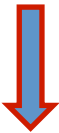


Fig. 3. Colour-shaded bathymetric maps of Lagoon of Venice (from left to right: 1927, 1970; 2002). Dotted red line indicates migration of -1.2 m contour line, showing an overall increase in depth (progressively darker blue colour). Emergent areas are indicated in green. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TRANSFORMAÇÕES MORFOLÓGICAS

ÁREA DE *SALTMARSHES*

1927: 68 km²
2002: 32 km²  (mais de 50% de redução)

SUBSIDÊNCIA DA LAGOA

Planícies de marés:

1927: — **0,75 m** (88 km²)

2002: — **2,00 m** (206 km²)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TRANSFORMAÇÕES MORFOLÓGICAS

TRANSGRESSÃO NA PROFUNDIDADE DE
PLANÍCIES DE MARÉS ($-1,2\ m$)

APROFUNDAMENTO DA LAGOA

Bases C e D e sul da cidade de Veneza (parte da base B)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Mapa batimétrico

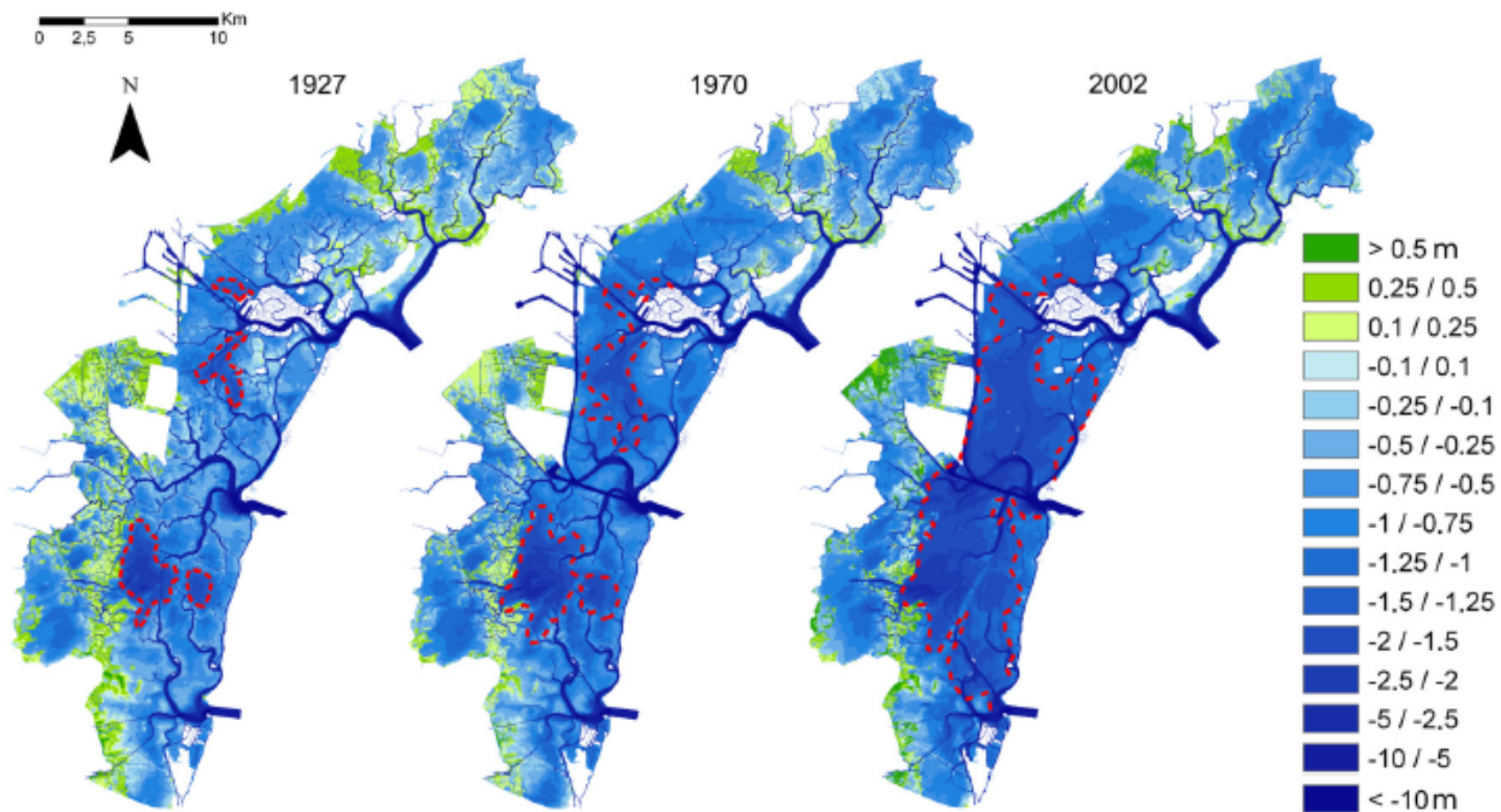


Fig. 3. Colour-shaded bathymetric maps of Lagoon of Venice (from left to right: 1927, 1970; 2002). Dotted red line indicates migration of -1.2 m contour line, showing an overall increase in depth (progressively darker blue colour). Emergent areas are indicated in green. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Table 2a

Area and areal changes of depth range for 1927, 1970 and 2002; the entire lagoon.

Depth interval (m)	Area (km ²)			Area changes (km ²)		
	1927	1970	2002	1927-2002	1970-2002	1927-1970
< 25	0	0	0	0.0	0.0	0.0
-25/-20	0	0	0	0.0	0.1	0.1
-20/-15	1	2	2	1.1	0.0	1.0
-15/-10	5	7	6	2.4	-0.7	1.7
-10/-5	20	20	17	-0.3	-2.6	-2.9
-5/-2	29	32	39	3.4	6.5	9.9
-2/-1.5	10	18	54	7.3	35.7	43.0
-1.5/-1.25	10	21	38	11.5	16.9	28.4
-1.25/-1	20	52	55	32.2	3.4	35.6
-1/-0.75	48	82	59	34.5	-23.2	11.2
-0.75/-0.5	84	67	49	-16.6	-18.5	-35.0
-0.5/-0.25	77	45	37	-31.7	-7.5	-39.2
-0.25/0	39	23	19	-15.9	-3.8	-19.8
> 0	68	39	32	-28.8	-6.5	-35.3
Total	409	409	408	-0.9	-0.2	-1.1

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Table 2b

Area by depth range for 1927, 1970 and 2002 for each sub-basin.

Depth interval (m)	1927 area (km ²)				1970 area (km ²)				2002 area (km ²)			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
< 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-25/-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-20/-15	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
-15/-10	0	3	2	0	0	4	2	0	0	4	2	0
-10/-5	4	6	6	3	4	6	6	4	4	5	5	4
-5/-2	5	7	8	8	5	6	9	11	5	7	14	12
-2/-1.5	1	1	4	4	1	3	8	6	1	6	34	12
-1.5/-1.25	0	2	4	3	1	5	10	6	1	11	15	12
-1.25/-1	1	4	7	8	5	14	17	16	9	20	11	15
-1/-0.75	6	11	14	16	13	25	26	18	15	18	9	18
-0.75/-0.5	15	24	25	20	20	11	18	18	21	7	8	13
-0.5/-0.25	19	13	24	21	16	8	7	14	15	4	8	10
-0.25/0	16	8	8	8	9	2	5	7	7	3	5	4
> 0	21	8	19	19	12	3	12	11	10	3	8	10
Total	88	88	121	111	88	87	121	111	88	87	121	111

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Table 2c

Areal changes of depth range in 1927, 1970 and 2002 for each sub-basin.

Depth interval (m)	Area changes 1970-1927 (km ²)				Area changes 2002-1970 (km ²)				Area changes 2002-1927 (km ²)			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
< 25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-25/-20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
-20/-15	0.0	0.1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9	0.0
-15/-10	0.2	1.2	0.9	0.1	0.0	-0.2	-0.7	0.1	0.2	1.0	0.3	0.2
-10/-5	-0.2	0.1	-0.7	0.4	-0.5	-0.5	-1.1	-0.4	-0.7	-0.5	-1.7	0.1
-5/-2	0.5	-1.2	0.9	3.1	-0.3	0.6	5.2	1.1	0.2	-0.6	6.1	4.2
-2/-1.5	0.5	1.5	3.6	1.8	-0.1	2.8	26.7	6.2	0.4	4.4	30.3	8.0
-1.5/-1.25	0.5	2.6	5.4	3.0	-0.1	5.9	5.4	5.6	0.4	8.5	10.8	8.6
-1.25/-1	4.2	10.3	9.7	7.9	3.6	6.5	-5.5	-1.2	7.8	16.8	4.2	6.7
-1/-0.75	6.5	14.1	12.2	1.7	2.2	-7.8	-17.7	0.0	8.7	6.3	-5.4	1.6
-0.75/-0.5	5.8	-12.9	-6.6	-2.8	0.2	-4.3	-10.2	-4.2	5.9	-17.2	-16.8	-7.0
-0.5/-0.25	-2.8	-5.5	-16.5	-6.8	-0.8	-4.1	0.9	-3.6	-3.6	-9.6	-15.6	-10.4
-0.25/0	-6.4	-5.5	-3.0	-1.0	-2.1	0.5	0.5	-2.6	-8.6	-5.0	-2.5	-3.6
> 0	-8.9	-5.0	-7.2	-7.6	-2.0	0.2	-3.7	-1.0	-10.9	-4.7	-10.9	-8.6

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

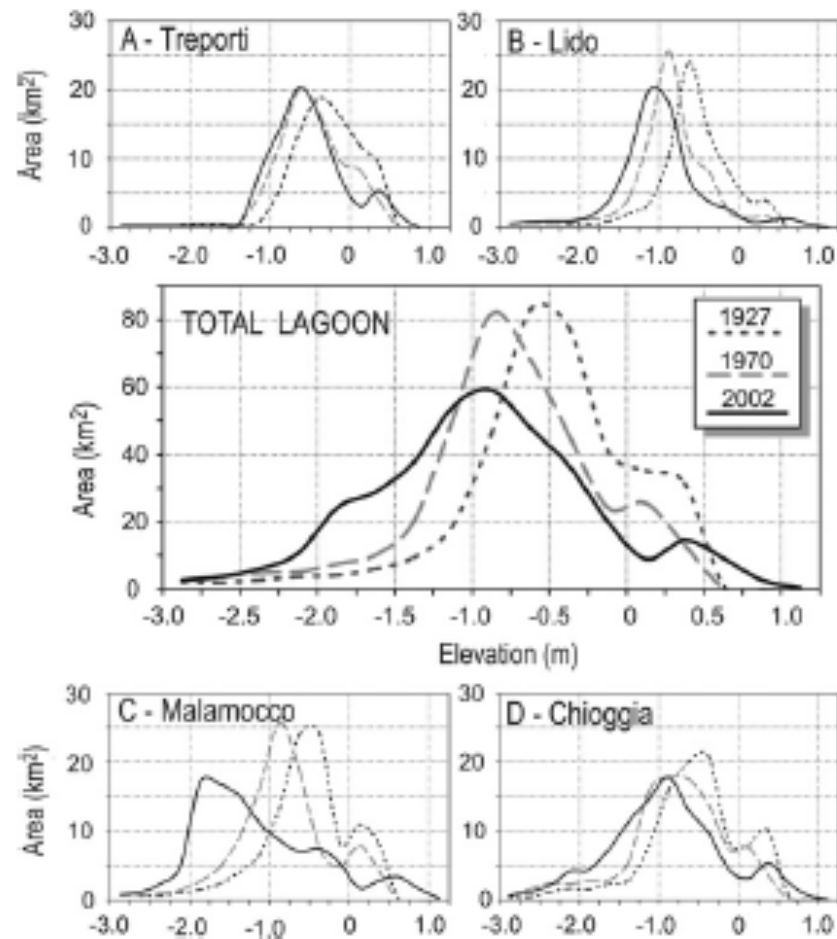


Fig. 4. The Distribution of surface areas of specific elevation categories in 1927 (dotted line), 1970 (dashed line) and 2002 (solid line) in whole Lagoon of Venice (central plot) and sub-basins A-D.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2 DEPOSIÇÃO, ESTABILIDADE E EROSÃO

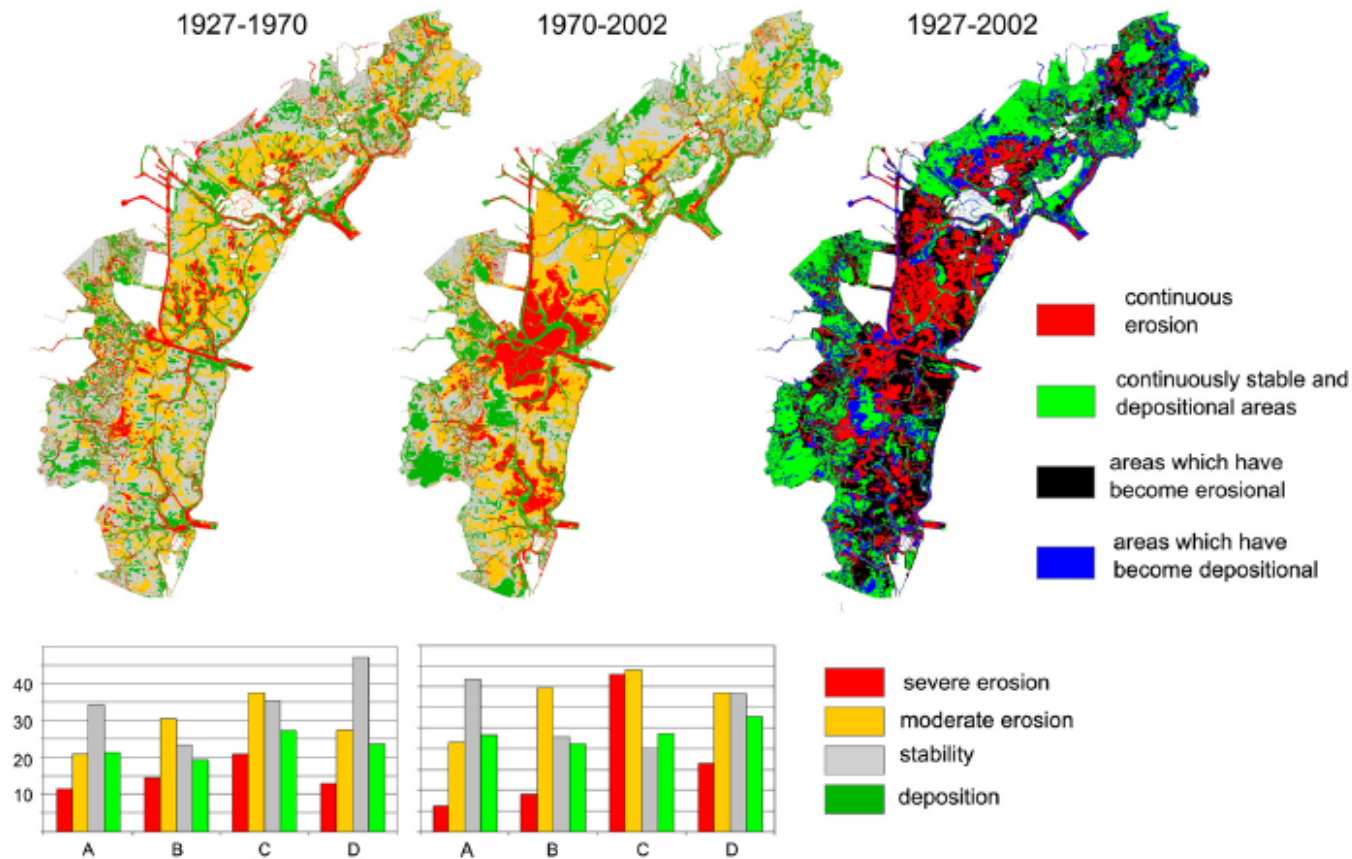
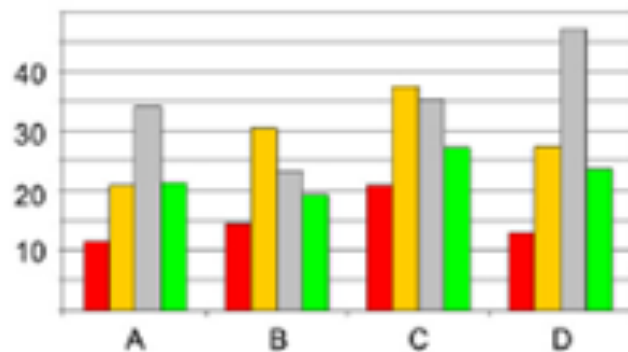
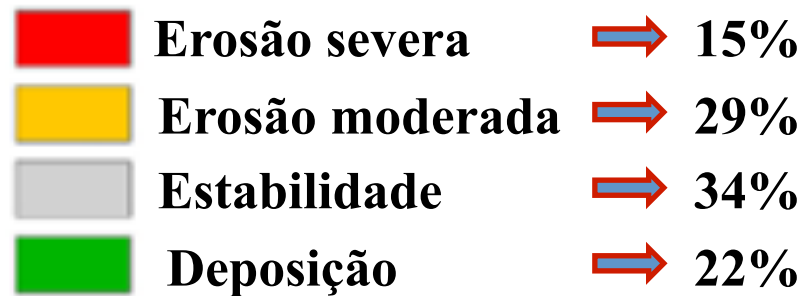


Fig. 5. Colour shaded sedimentation maps for 1927-1970 (left) and 1970-2002 (centre), and map of continuity/change in sedimentary regime from first to second period (right). Severe erosion means altimetric differences of < -0.5 m, moderate erosion means differences between -0.5 and -0.1 m, stability means differences within ± 0.1 m, deposition means differences of > 0.1 m. Histograms show regimes of the four sub-basins in the two periods. Continuous erosion was seen mainly in the subtidal flats. Continuously stable and depositional areas are mainly saltmarshes; changes towards erosion (instability) result from enlargement of permanent erosion areas; changes towards deposition result mostly from channel infilling. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2 DEPOSIÇÃO, ESTABILIDADE E EROSIÃO

Entre 1927 e 1970:



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2 DEPOSIÇÃO, ESTABILIDADE E EROÇÃO

Entre 1927 e 1970:

Fator dominante: **SUBSIDÊNCIA**

Maiores áreas de erosão

Oil Canal

Vittorio Emanuele Canal

Dragagem de

~40 Mm³

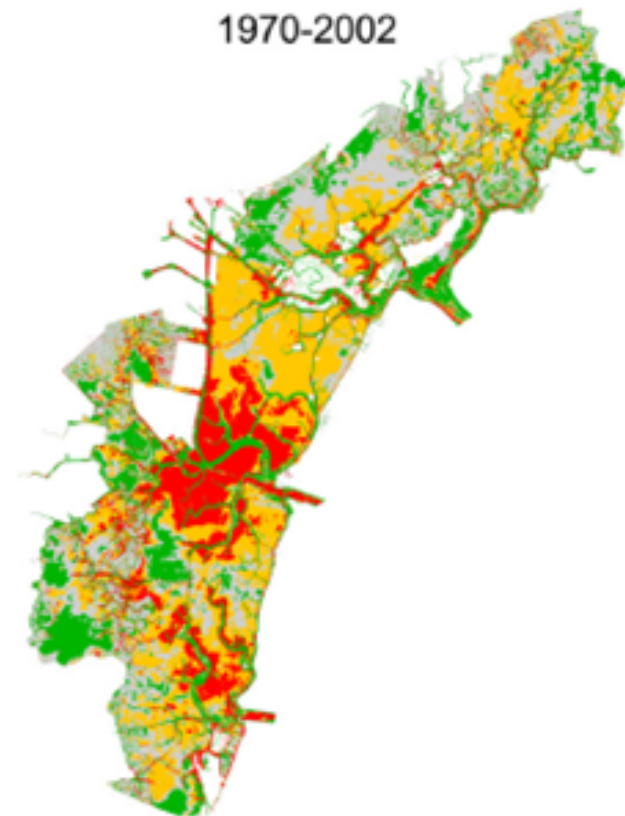
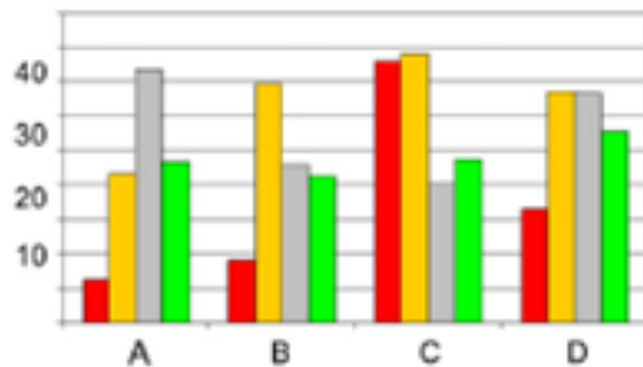
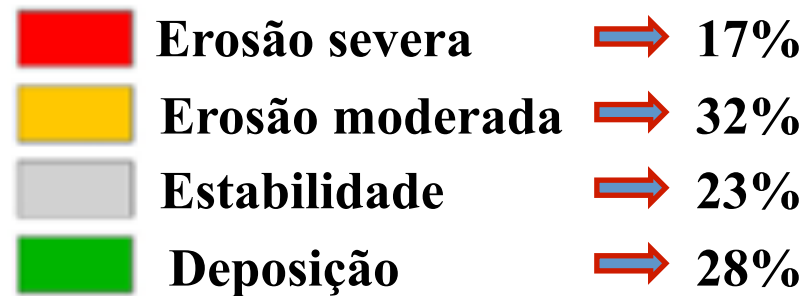
Docas



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2 DEPOSIÇÃO, ESTABILIDADE E EROSIÃO

Entre 1970 e 2002:



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2 DEPOSIÇÃO, ESTABILIDADE E EROSÃO

Entre 1970 e 2002:

SEVERA EROSÃO

Maiores áreas de erosão

Canal de Malamocco → **~40Mm³** (70% da erosão total)
(Dragagem do canal de navegação)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2 DEPOSIÇÃO, ESTABILIDADE E EROSÃO

Processo entre 1927 e 2002:

Taxa média de erosão



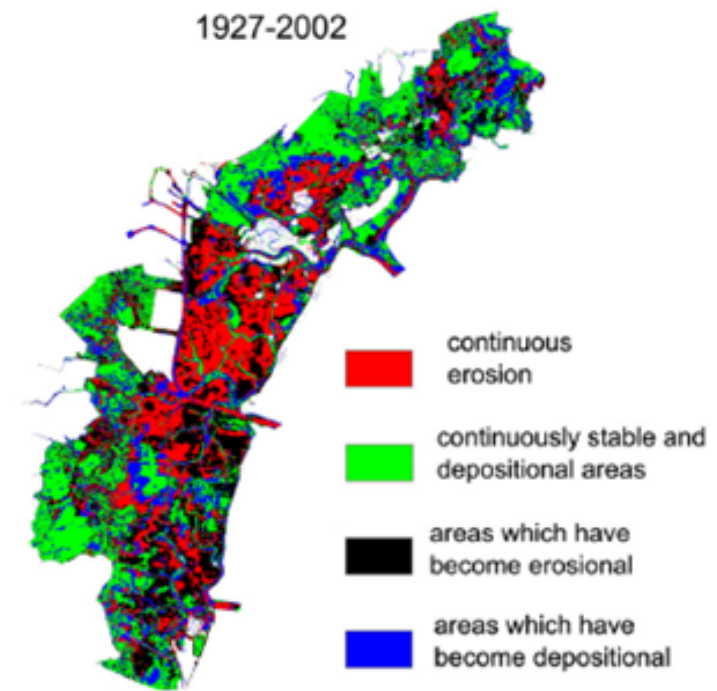
0,35 *cm/ano*

Canal de Malamocco-Marghera:



0,70 *cm/ano*

ACELERAÇÃO NO PROCESSO DE EROSÃO



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2 DEPOSIÇÃO, ESTABILIDADE E EROÇÃO

Table 3

Relevant data for the entire lagoonal sediment budget calculation in the two studied periods.

Entire lagoon of Venice	1927–1970			1970–2002		
	km ²	Depth variation (m)	Mm ³	km ²	Depth variation (m)	Mm ³
Sedimentation inside lagoon						
(a) within channels	44	0.05	2	50	0.40	20
(b) completely filled channels	7	2.08	15	14	0.87	12
(c) extension of saltmarshes	4	1.08	4	4	0.62	3
Dredged sediments	22	-2.78	-60	9	-1.22	-11
Sediment eroded						
(a) tidal and subtidal flats	269	-0.07	-18	287	-0.19	-54
(b) saltmarshes	26	-0.63	-16	10	-0.67	-7
Artificial saltmarshes				4	0.91	3
Disposed of outside lagoon			60			8
Lost through inlets			-13			-26

The budgets derive from bathymetric chart comparison. The data on dredged material disposed of on land was supplied by MAV; the difference indicated was lost through inlets.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2 DEPOSIÇÃO, ESTABILIDADE E EROÇÃO

Table 4

The relevant data for calculating sediment budget of each sub-basin during the two studied periods.

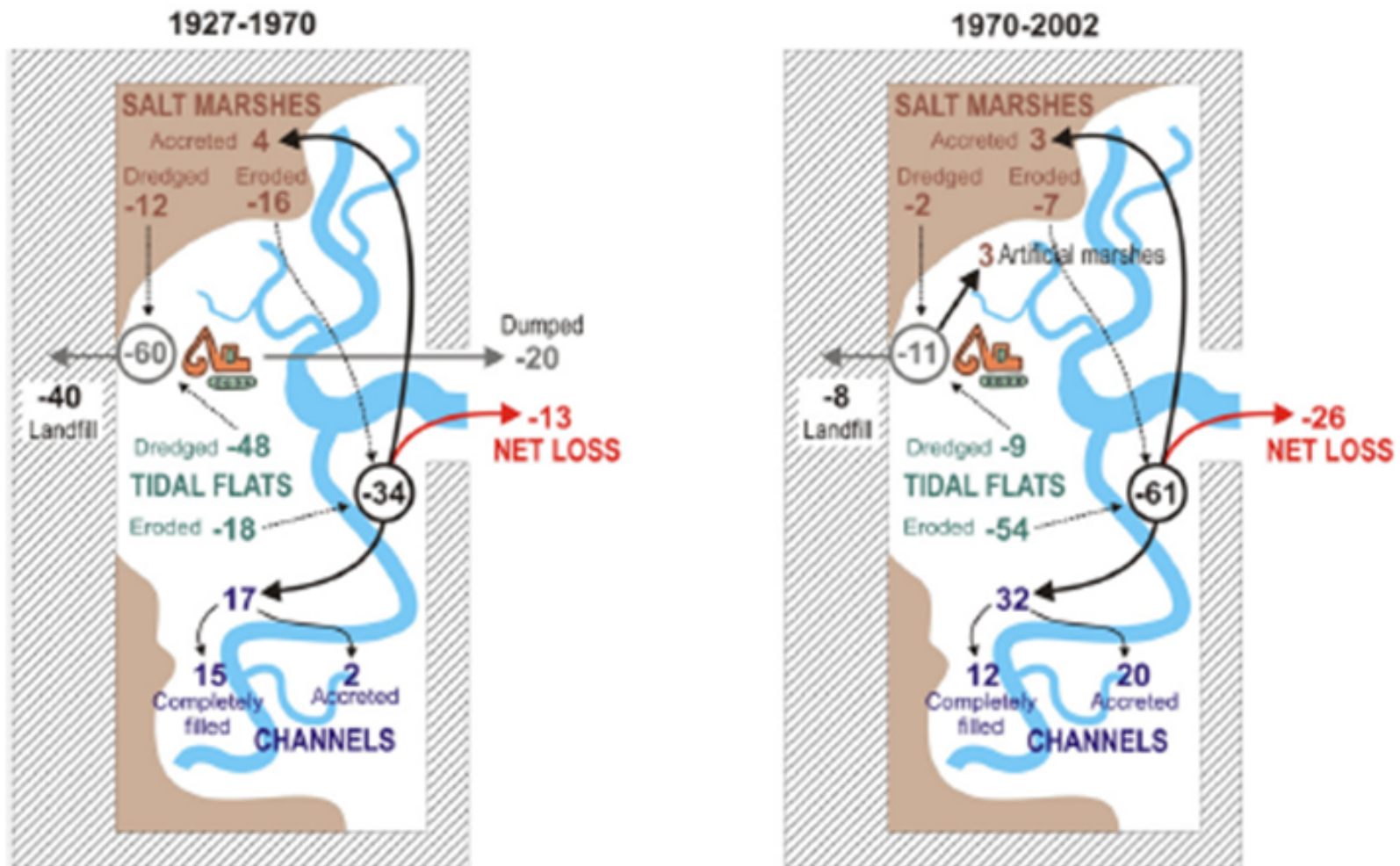
	Sub-basin	Budget (Mm ³)	Disposal outside (Mm ³)	Lost to sea (Mm ³)	Rate of loss in (m ³ × 10 ³ yr ⁻¹)	Rate of loss in tons ^a (10 ³ yr ⁻¹)	River input (m ³ 10 ³ yr ⁻¹)
1927–1970	A-Treporti	-7,0	6	-1,0	-23	-31	
	B-Lido	-20,0	17	-3,0	-70	-92	
	C-Malamocco	-34,2	30	-4,2	-98	-130	
	D-Chioggia	-12,0	7	-5,0	-116	-153	
	Total Lagoon	-73,2	60	-13,2	-307	-406	
1970–2002	A-Treporti	1,7	0	1,7	54	71	14
	B-Lido	-4,1	2	-2,1	-65	-85	8
	C-Malamocco	-24,1	3	-21,1	-659	-870	4
	D-Chioggia	-8,0	3	-5,0	-156	-206	7
	Total lagoon	-34,4	8	-26,4	-826	-1090	33

Rates of sediment loss to sea were averaged for 43 and 32 years respectively and compared with riverine input. The riverine data for period 1970–2002 are from Collavini et al. (2005) and refer to years 1999–2000.

^a Volume estimates assume uniform density of 2650 kg m⁻³ and 50% porosity.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2 DEPOSIÇÃO, ESTABILIDADE E EROSIÃO



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3 RELAÇÃO ENTRE VARIAÇÕES NA TEXTURA DOS SEDIMENTO E PADRÕES DE EROSIÃO/DEPOSIÇÃO

Table 5

Mean values and ranges (in brackets) of surficial sediment grain-size of tidal flats inside each lagoonal sub-basin; (after Molinaroli et al., 2009, modified).

Sub-basins	Sand 1970 (%)	Sand 2000 (%)	Silt 1970 (%)	Silt 2000 (%)	Clay 1970 (%)	Clay 2000 (%)
A	8 (0-49)	11 (2-43)	68 (44-84)	61 (45-72)	24 (8-51)	29 (11-43)
B	19 (3-64)	31 (1-91)	60 (25-86)	48 (6-70)	21 (8-35)	22 (3-46)
C	40 (3-96)	42 (6-83)	41 (2-65)	41 (12-73)	19 (1-45)	18 (3-40)
D	39 (0-97)	48 (1-98)	42 (2-73)	36 (1-62)	20 (1-47)	16 (0-45)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3 RELAÇÃO ENTRE VARIAÇÕES NA TEXTURA DOS SEDIMENTO E PADRÕES DE EROSIÃO/DEPOSIÇÃO

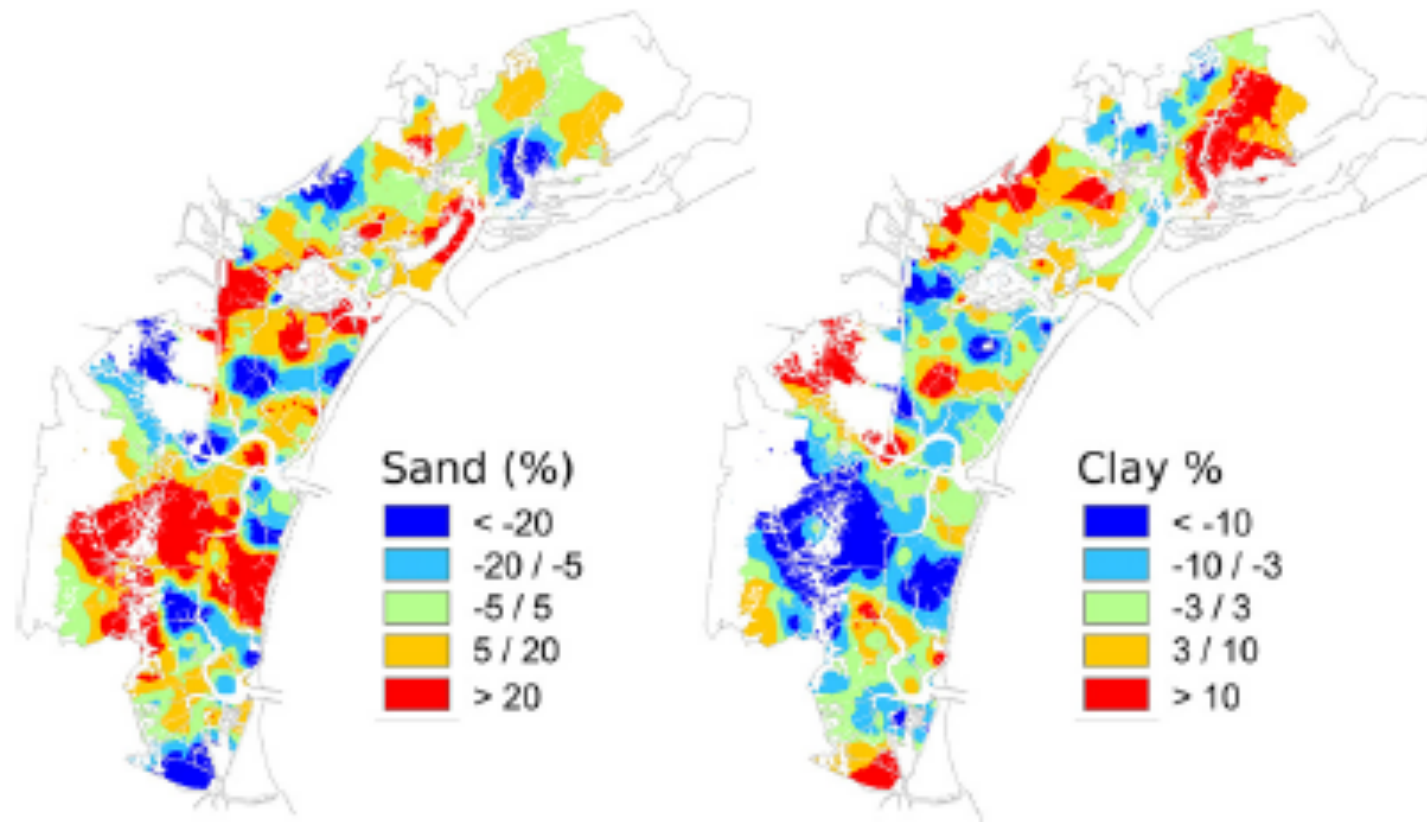
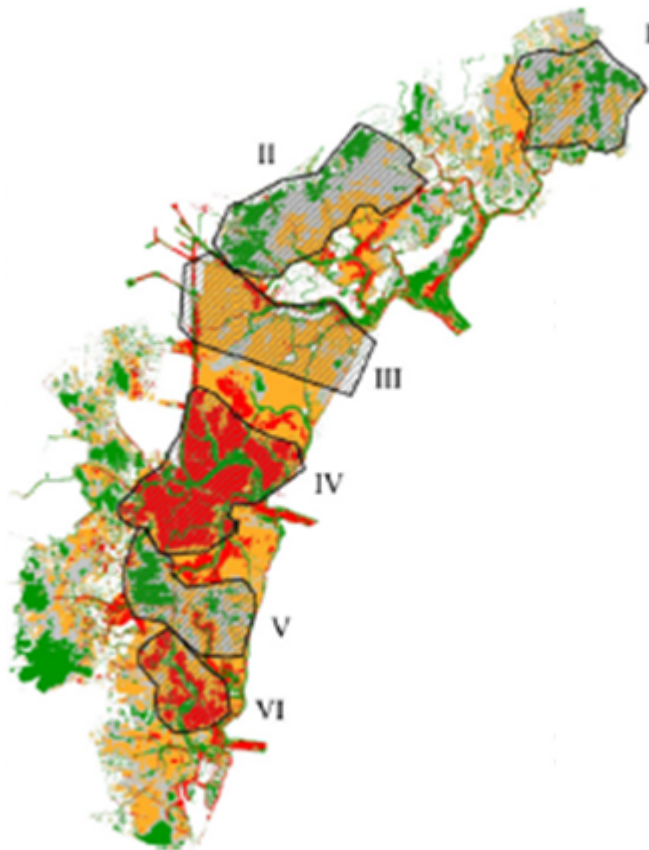


Fig. 7. Differences between 2000 and 1970 in distribution of sand (>63µm, left) and clay (<2µm, right).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3 RELAÇÃO ENTRE VARIAÇÕES NA TEXTURA DOS SEDIMENTO E PADRÕES DE EROSIÃO/DEPOSIÇÃO



I, II e V → Deposição

III, IV e VI → Erosão

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3 RELAÇÃO ENTRE VARIAÇÕES NA TEXTURA DOS SEDIMENTO E PADRÕES DE EROSIÃO/DEPOSIÇÃO

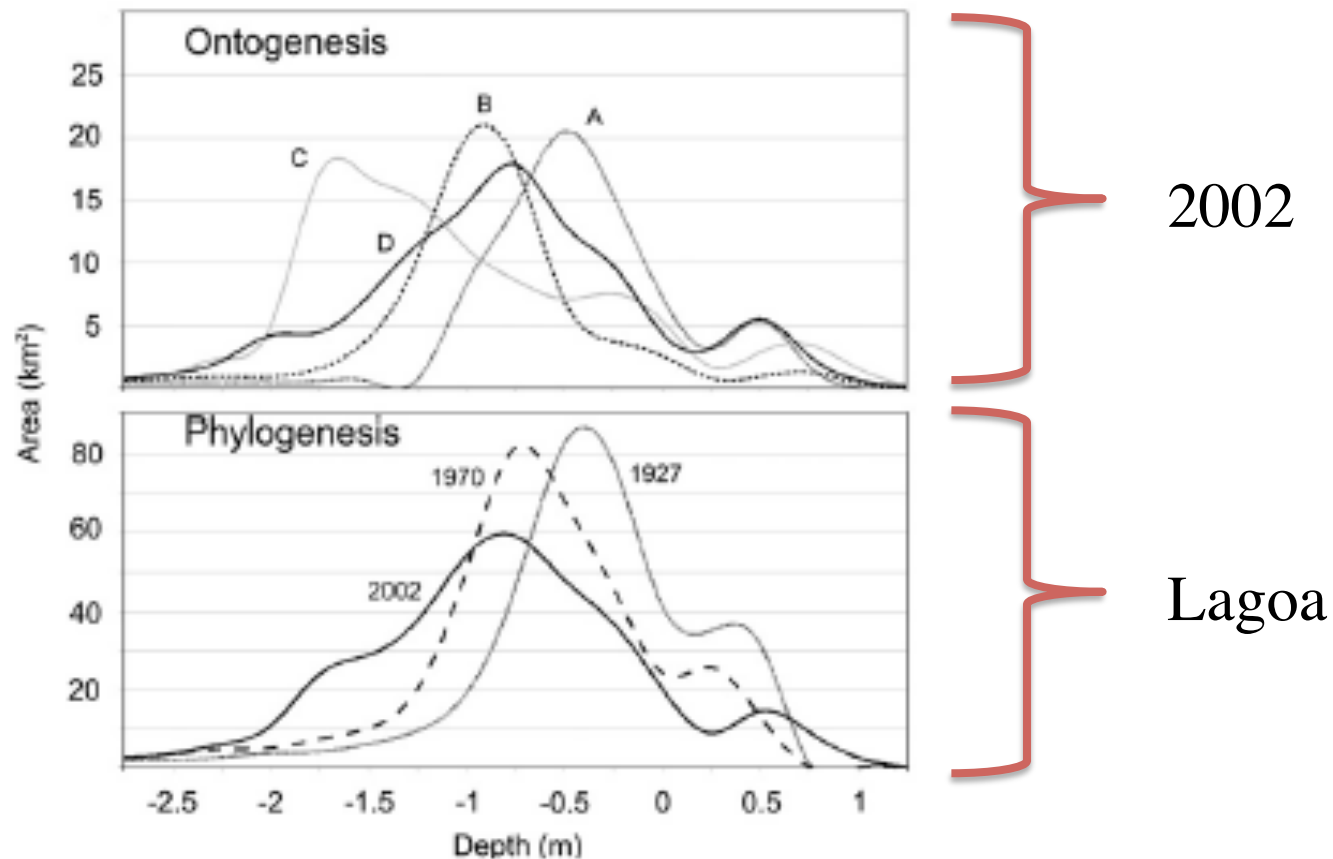
Table 6
Relevant data for six zones shown in Fig. 8.

Sub-zone	Area ID	Erosion/deposition regime	km ²	Mean depth variation (m)	Sedimentation/erosion rate (cm yr ⁻¹)	Volume (Mm ³)
I	A	SD	19	0.12	0.4	2
II	A/B	SD	28	0.08	0.3	2
III	B	ME	24	-0.23	-0.7	-5
IV	C	SE	27	-0.81	-2.5	-22
V	C/D	SD	16	0.11	0.4	2
VI	D	SE	8	-0.60	-1.9	-5

SD: stability+deposition; ME: moderate erosion; SE: severe erosion.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3 RELAÇÃO ENTRE VARIAÇÕES NA TEXTURA DOS SEDIMENTO E PADRÕES DE EROSIÃO/DEPOSIÇÃO



5. CONCLUSÕES

1. Redução de áreas de *Saltmarshes*:

1927: **68 km²**

2002: **32 km²**

2. Área subaquosa:

1927: **-0,62 m**




1970: **-0,87 m**

2002: **-0,88 m**

Expansão de planícies de marés mais profundas (entre **-0,75 m** e **-2,00 m**) de **88 km²** para **206**

5. CONCLUSÕES

4. Aumento da profundidade durante os 75 anos:

Malamocco:	$-0,64 \text{ m}$		$-1,75 \text{ m}$
Chioggia:	$-0,39 \text{ m}$		$-0,88 \text{ m}$
Lido:	$-0,65 \text{ m}$		$-1,12 \text{ m}$

5. Perda de sedimentos da Lagoa

$\sim 110 \text{ Mm}^3$ 70% (primeiro período)

6. Aceleração da erosão

1927 – 1970: $0,3 \text{ Mm}^3/\text{ano}$

6. REFERÊNCIAS

- Albani, A.D., Serandrei Barbero, R., 2001. The distribution of surface sediments in the lagoon of Venice (Italy) in the 1980s. *Atti Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti* 159, 363–378.
- Amos, C.L., Villatoro, M., Høiby, R., Zaggia, L., Umgiesser, G., Venturini, V., Are, D., Sutherland, T.A., Mazzoldi, A., Rizzetti, F., (in press). The measurement of sand transport in two inlets of Venice lagoon, Italy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Spec. Issue.
- Apitz, S.E., Barbanti, A., Bernstein, A.G., Bocci, M., Delaney, E., Montobbio, L., 2007. The assessment of sediment screening risk in Venice lagoon and other coastal areas using international sediment quality guidelines. *Journal of Soils and Sediments* 7 (5), 326–341.
- Battiston, G., Croatto, U., Degetto, S., Sbrignadello, G., Tositti, L., 1985. Tecniche radioisotopiche nella datazione di sedimenti recenti. *Inquinamento* 6, 49–58.
- Battiston, G., Croatto, U., Degetto, S., Sbrignadello, G., Tositti, L., 1986. Studi sulla diffusione e distribuzione di inquinanti antropogenici mediante tecniche radioisotopiche di datazione di sedimenti recenti. *Ambiente Risorse* 1, 81–87.
- Bellucci, L.G., Frignani, M., Cochran, J.K., Albertazzi, S., Zaggia, L., Cecconi, G., Hopkins, H., 2007. ^{210}Pb and ^{137}Cs as chronometers for salt marsh accretion in the Venice Lagoon and links to flooding frequency and climate change. *Journal of Environmental Radioactivity* 97, 85–102.
- Bianchi, F., Ravagnan, E., Acri, F., Bernardi-Aubry, F., Boldrin, A., Camatti, E., Cassin, D., Turchetto, M., 2004. Variability and fluxes of hydrology, nutrients and particulate matter between the Venice lagoon and the Adriatic Sea. Preliminary results (years 2001–2002). *Journal of Marine Systems* 51, 49–64.
- Bonometto, L., 2005. Functional characteristics of salt marshes (*barene*) in the Venice lagoon and environmental restoration scenarios. In: Fletcher, C.A., Spencer, T. (Eds.), *Flooding and Environmental Challenges for Venice and its Lagoon: State of Knowledge*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 473–486.
- Brambati, A., Carbognin, L., Quaia, T., Teatini, P., Tosi, L., 2003. The lagoon of Venice: geological setting, evolution and land subsidence. *Episodes* 26, 264–268.
- Bromberg Gedan, K., Siliman, B.R., Bertness, M.D., 2009. Centuries of human-driven change in salt-marsh ecosystems. *Annual Review of Marine Science* 1, 117–141.
- Carbognin, L., Teatini, P., Tosi, L., 2004. Eustacy and land subsidence in the Venice lagoon at the beginning of the new millennium. *Journal of Marine System* 51, 345–353.
- Cavaleri, L., 1980. Sediment transport in shallow lagoons. *Il Nuovo Cimento* 3C (5), 527–540.
- Cavazzoni, S., 1977. Variazioni batimetriche ed idrografiche nella laguna di Venezia, intercorse tra il 1933 e il 1971. *Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, Rapporti e Studi* 7, 1–18.
- Cesari, P., Pellizzato, M., 1985. Inseadimento nella laguna di Venezia e distribuzione adriatica di *Rapana venosa* (Valenciennes) (Gastropoda, Thaididae). *Lavori Società Veneta di Scienze Naturali* 10, 3–16.
- Chiario, R., Fornasiero, P., 2005. The ADCP measurements+SeDview method: a rigorous approach to estimate solid concentration and solid discharge. Fourth ADCPs in Action Users Conference, April 4–6, 2005, San Diego, California (USA).
- Collavini, F., Bettiol, C., Zaggia, L., Zonta, R., 2005. Pollutant loads from the drainage basin to the Venice lagoon (Italy). *Environmental International* 31, 939–947.
- Cossa, R., De Fria Frangipane, E., 1985. Stato delle conoscenze sull'inquinamento della laguna di Venezia. *Consorzio Venezia Nuova, Servizio Informativo, Technical Report* (vols. I–IV), 438 pp.
- Day, J.W., Scarton, F., Rismondo, A., Are, D., 1998. Rapid deterioration of a salt marsh in Venice Lagoon. *Journal of Coastal Research* 14, 583–590.
- Defendi, V., Zaggia, L., Kovačević, V., (this issue) Estimating suspended sediment transport from acoustic measurements in the Venice Lagoon inlets.
- Defina, A., Carniello, A., Fagherazzi, S., D'Alpaos, L., 2007. Self-organization of shallow basins in tidal flats and salt marshes. *Journal of Geophysical Research* 112, F03001, doi:10.1029/2006JF000550.
- Degetto, S., 1997. Passato e presente dell'inquinamento lagunare attraverso l'analisi di carote sedimentarie radiodate. *Proc. of the Conference 'Salvaguardia Ambientale e Sviluppo Sostenibile'*, Università Cà Foscari, Venice, Italy, pp. 36–57.
- Degetto, S., Cantaluppi, C., 2004. Radiochemical methodology for the determination of the mass balance of suspended particulate materials exchanged at the inlets of the Venice Lagoon. *Journal of Marine System* 51, 77–94.
- Donazzolo, R., Orto, A., Pavoni, B., 1982. Radiometric dating and pollutants profiles in a sediment core from the Lagoon of Venice. *Oceanologica Acta* 1 (4 Suppl.), 101–106.
- Dorigo, L., 1961. Le osservazioni mareografiche in Laguna di Venezia. *Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, Commissione di Studio dei Provvedimenti per la Conservazione e Difesa della Laguna e della Città di Venezia, Rapporti Preliminari* 1, Stamperia di Venezia, pp. 11–38.
- Fagherazzi, S., Carniello, L., D'Alpaos, L., Defina, A., 2006. Critical bifurcation of shallow microtidal landforms in tidal flats and salt marshes. In: *Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America*, PNAS 103, pp. 8337–8341.
- Fagherazzi, S., Palermo, C., Rulli, M.C., Carniello, L., Defina, A., 2007. Wind waves in shallow microtidal basins and the dynamic equilibrium of tidal flats. *Journal of Geophysical Research* 112, F02004, doi:10.1029/2006JF000572.
- Favoni, V., 1992. Evoluzione morfologica e trasformazioni ambientali dalla contenimento lagunare al nostro secolo. In: *Contenimento lagunare: storia, ingegneria, politica e diritto nella Laguna di Venezia. Proceeding of the Conference "Convegno di studio nel bicentenario della contenimento lagunare"*, Venice, Italy, 14–16 March 1991. *Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, Tipografia La Garangola, Padova*, pp. 165–184.
- Ferla, M., Cordella, M., Michielli, L., 2006. Aggiornamenti sulle osservazioni dei livelli di marea a Venezia. *Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, APAT, Rapporti* 69, Technical Report.
- Fleming, B.W., 2000. A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis of ternary diagrams. *Continental Shelf Research* 20, 1125–1137.
- Fontana, A., Mozzi, P., Bondesan, A., 2004. L'evoluzione geomorfologica della pianura veneto-friulana. In: Bondesan, A., Meneghel, M. (Eds.), *Geomorfologia della Provincia di Venezia*. Esera Editrice, Padova, Italy, pp. 113–138.
- Gatto, P., Carbognin, L., 1981. The lagoon of Venice: natural environmental trend and man-induced modification. *Hydrological Sciences Bulletin* 26, 379–391.
- Guerzoni, S., Tagliapietra, D., 2006. Atlante della laguna. Venezia tra terra e mare (Atlas of the lagoon: Venice between land and sea). *Masilia Venice* 242 pp.
- Higgins, S.A., Jaffe, B., Fuller, C.C., 2007. Reconstructing sediment age profiles from historical bathymetry changes in San Pablo Bay, California. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 73, 165–174.
- Jaffe, B.E., Smith, R.E., Faggoner, A.C., 2007. Anthropogenic influence on sedimentation and intertidal mudflat change in San Pablo Bay, California: 1856–1983. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73, 175–187.
- Longley, P.A., Goodchild, M., Maguire, D.J., Rhind, D.W., Lobley, J., 2001. *Geographic information systems and science*. Wiley, Chichester, UK, 464 pp.
- Marani, M., D'Alpaos, A., Lanzoni, S., Carniello, L., Rinaldo, A., 2007. Biologically-controlled multiple equilibria of tidal landforms and the fate of the Venice lagoon. *Geophysical Research Letters* 34, L11402, doi:10.1029/2007GL031078.
- Ministero Ambiente, 1993. Protocollo recante criteri di sicurezza ambientale per gli interventi di escavazione, trasporto e reimpianto dei fanghi estratti dai canali di Venezia—8 Aprile 1993, Venice, Italy, Technical Report.
- MW-CVN, 1996. Studio C4.5/I. Monitoraggio dello sviluppo di velme e barene. Studio per la formulazione di indirizzi e criteri esecutivi generali. Dati sui sedimenti lagunari. *Magistrato alle Acque di Venezia, Consorzio Venezia Nuova, Venice, Italy, Technical Report*.
- MW-CVN, 1999. Mappatura dell'inquinamento dei fondali lagunari. Studi ed indagini, relazione finale luglio 1999. *Magistrato alle Acque di Venezia, Consorzio Venezia Nuova, Venice, Italy, Technical Report*.
- MW-CVN, 2004. Attività di aggiornamento del piano degli interventi per il recupero morfologico in applicazione della delibera del Consiglio dei Ministri del 15 Marzo 2001. Studi di base, linee guida e proposte di intervento del piano morfologico. *Magistrato alle Acque di Venezia, Consorzio Venezia Nuova, Venice, Italy, Technical Report*.
- Molinari, E., Guerzoni, S., Saretta, A., Cucco, A., Unglesser, G., 2007. Link between hydrology and sedimentology in the lagoon of Venice, Italy. *Journal of Marine System* 68, 303–317.
- Molinari, E., Guerzoni, S., Saretta, A., Masiol, M., Piroliato, M., 2009. Thirty-year changes (1970–2000) in bathymetry and sediment texture recorded in the lagoon of Venice sub-basins, Italy. *Marine Geology* 258, 115–125.
- Pillon, S., Fontolan, G., Bezzi, A., Burla, I., Tessari, U., Simeoni, U., Zamariolo, A., Trombelli, E., Gabellini, M., 2003. A GIS-based morphological evolution of the Venice Lagoon. In: *Proc. VI International Conference on Mediterranean Coastal Environment MEDCOAST03*, 2, pp. 1269–1280.
- Pinder, D.A., Witherick, M.E., 1990. Port industrialization, urbanization and wetland loss. In: Williams, M. (Ed.), *Wetlands: A Threatened Landscape*. Blackwell, Oxford, UK, pp. 235–266.
- Pranov, F., Da Ponte, F., Raicevich, S., Giovannardi, O., 2004. A multidisciplinary study of the immediate effects of mechanical clam harvesting in the Venice lagoon. *ICES Journal of Marine Science* 61 (1), 43–52.
- Pranov, F., Franceschini, G., Ceale, M., Zucchetta, M., Torricelli, P., Giovannardi, O., 2006. An ecological imbalance induced by a non-native species: the Manila clam in the Venice lagoon. *Biological Invasions* 8 (4), 595–609.
- Provincia di Venezia, 2000. Piano per la gestione delle risorse alleatiche delle lagune della provincia di Venezia. *Provincia di Venezia, Venezia*.
- Ravea, G., 2000. The lagoon of Venice: the result of both natural factors and human influence. *Journal of Limnology* 59 (1), 9–30.
- Rusconi, A., 1987. Variazioni delle superfici componenti il bacino lagunare. *Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque, Pubblicazione n. 160, Tipoffset Gasparoni, Venezia*.
- Saretta, A., 2007. Integrazione di dati granulometrici e informazioni ambientali nella laguna di Venezia per lo studio degli habitat di fondo. PhD thesis, Università Ca' Foscari Venezia Italy, unpublished.
- Scarton, F., Day, J.W., Rismondo, A., Cecconi, G., Are, D., 2000. Effects of an intertidal sediment fence on sediment elevation and vegetation distribution in a Venice (Italy) lagoon salt marsh. *Ecological Engineering* 16, 223–233.
- Sfiso, A., Facca, C., Marcomini, A., 2005. Sedimentation rates and erosion processes in the lagoon of Venice. *Environment International* 31, 983–992 (Special Issue).
- Silliman, B.R., Grosholz, E., Bertness, M.D., in press. A synthesis of anthropogenic impacts on North American salt marshes. In: Silliman, B.R., Bertness, M.D., Strong, D. (Eds.), *Anthropogenic Modification of North American Salt Marshes*. University of California Press, Berkeley, CA.
- Silvestri, S., Defina, A., Marani, M., 2005. Tidal regime, salinity and salt marsh plant zonation. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 62, 119–130.
- Vatova, A., 1940. Le zoonosi della laguna veneta. *Thalassia* 3 (10), 1–28.
- Vatova, A., 1949. Caratteri di alcune facies bentoniche della laguna veneta. *Nova Thalassia* 1 (4), 1–15.
- Zonta, R., Bettiol, C., Collarini, F., Fagherazzi, O.E., Zaggia, L., Zulliani, A., 2001. DRAIN Project—fresh water and pollutant transfer from the drainage basin to the Venice Lagoon. *Project Report N. 15B, Venice Italy*, pp. 1–61.