



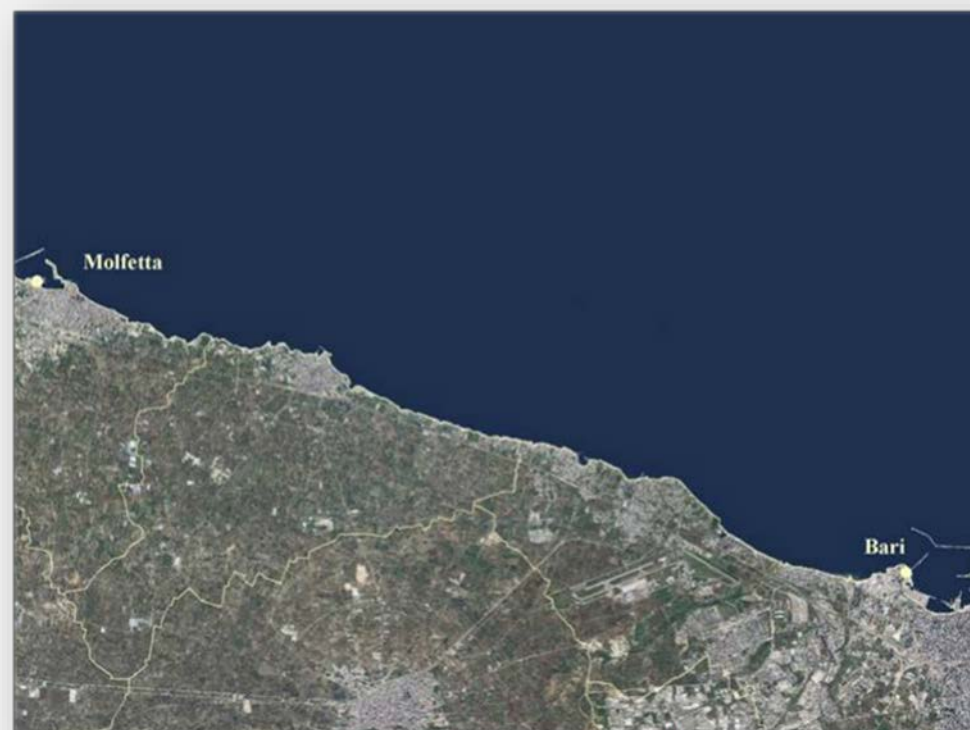
POLITECNICO DI BARI

**Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio,
Edile e di Chimica (DICATECh)**

CRITERI DI PROGETTAZIONE E CRITICITÀ DELLE CONDOTTE SOTTOMARINE

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DEL PARAGGIO










NELL'AMBITO DEL PIANO REGIONALE DELLE COSTE (PRC), APPROVATO DALLA REGIONE PUGLIA IN BASE ALLA DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE N. 2273 DEL 13/10/2011 (G.U. N. 174 DEL 09/11/2011), L'AREA IN ESAME RICADE ALL'INTERNO DELL'UNITÀ FISIOGRAFICA PRINCIPALE DENOMINATA "U.F. 2" (TESTA DEL GARGANO - PORTO DI BARI, L = 174KM), ED IN PARTICOLARE NELLA SUB-UNITÀ "U.F. 2.6" CHE SI ESTENDE DA MOLFETTA FINO A BARI PER UNA LUNGHEZZA DI CIRCA 29KM.



INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DEL PARAGGIO

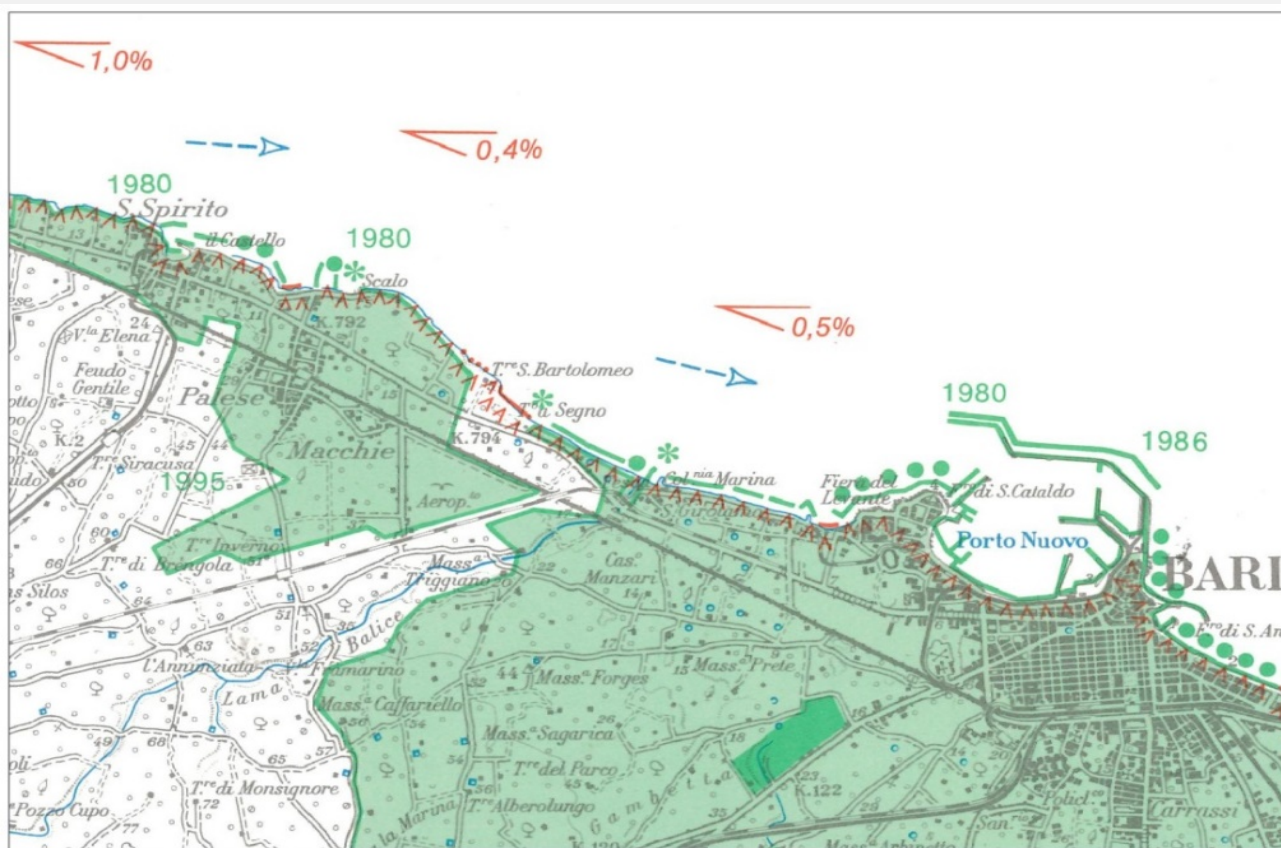
IL TRATTO DI LITORALE IN ESAME È STATO CLASSIFICATO COME LITORALE A CRITICITÀ ALL'EROSIONE DI TIPO BASSA (C3), MENTRE LA SENSIBILITÀ AMBIENTALE È SEMPRE BASSA (S3) AD ECCEZIONE DELLA FOCE DI LAMA BALICE DOVE È DI TIPO ALTA (S1).



	C1S1
	C1S2
	C1S3
	C2S1
	C2S2
	C2S3
	C3S1
	C3S2
	C3S3

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DEL PARAGGIO

IL LITORALE DI BARI È RIPORTATO NEI FOGLI N. 177 - 178 DELL' ATLANTE ITALIANO DELLE SPIAGGE (1997). DALL'ANALISI DELLA FIGURA SI EVIDENZIA CHE IL LITORALE IN ESAME È CARATTERIZZATO DA COSTA ROCCIOSA ALLA BATTIGIA; TRATTI DI SPIAGGIA SABBIOSA SONO PRESENTI IN CORRISPONDENZA DI LIDO S. FRANCESCO, IMMEDIATAMENTE A NORD DEL PORTO DI BARI, ED IN CORRISPONDENZA DI T.RE S. BARTOLOMEO, A NORD DELLA FOCE DI LAMA BALICE, DOVE È PRESENTE INOLTRE UN BREVE TRATTO DI SPIAGGIA CIOTTOLOSA.



LA SPIAGGIA SOMMERSA HA UNA PENDENZA MEDIA MOLTO BASSA, DELL'ORDINE DEL 0.4 – 0.5%. LA COSTA RISULTA COMPLETAMENTE ANTROPIZZATA, IN PARTE DAL TESSUTO URBANO DEI QUARTIERI FESCA – SAN GIROLAMO DI BARI, IN PARTE DA AREE RESIDENZIALI DEI QUARTIERI DI PALESE – MACCHIE.



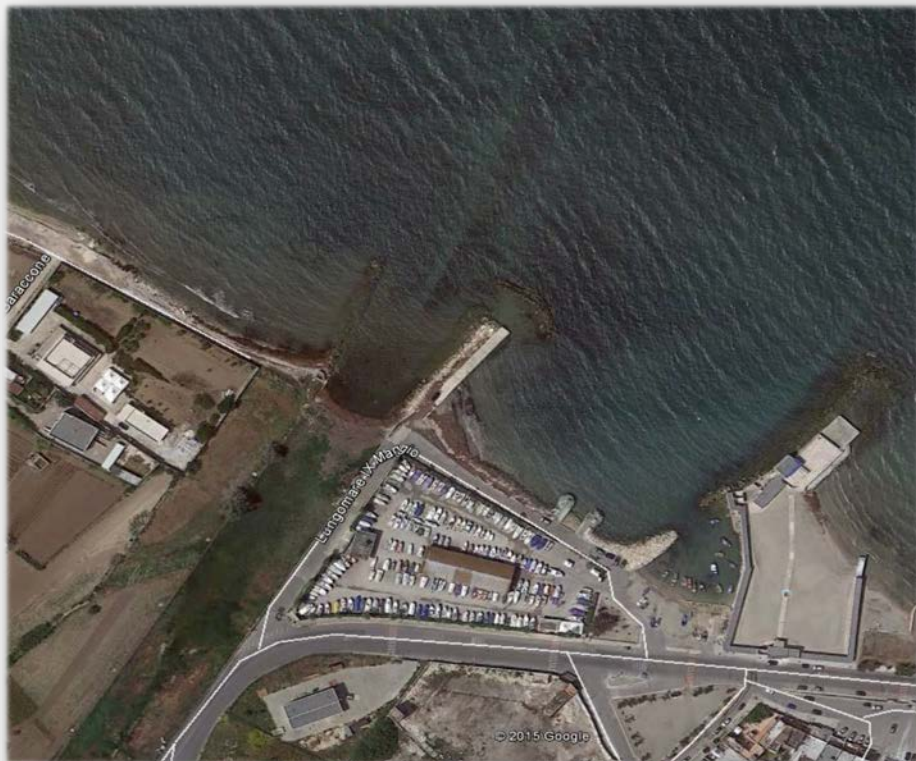
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELLA CONDOTTA SOTTOMARINA

LA CONDOTTA SOTTOMARINA ESISTENTE È SITUATA IN LOCALITÀ BARI SAN GIROLAMO, E RAPPRESENTA IL RECAPITO FINALE DELLE ACQUE REFLUE DEPURATE PROVENIENTI DALL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE CONSORTILE DI "BARI OVEST" (A SERVIZIO DEI COMUNI DI BARI, MODUGNO, GRUMO APPULA, PALO DEL COLLE, BITETTO, BINETTO, SANNICANDRO DI BARI) E DI BITONTO.



INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELLA CONDOTTA SOTTOMARINA

IL RECAPITO FINALE È IN MARE ADRIATICO, PERTANTO IL REFLUO DEVE ESSERE CARATTERIZZATO DA CONCENTRAZIONI TALI DA RISPETTARE I LIMITI DELLA TABELLA 1 DELL'ALLEGATO 5 DEL D.LVO 152/06 E S.M.I. L'ATTUALE CONDOTTA, DEL DIAMETRO DN 1200MM, SI INNESTA A MARE IN LOCALITÀ SAN GIROLAMO, NELLA ZONA ANTISTANTE LA FOCE DELLA LAMA BALICE E SI ESTENDE PER UNA LUNGHEZZA A MARE DI 750 M DALLA BATTIGIA.



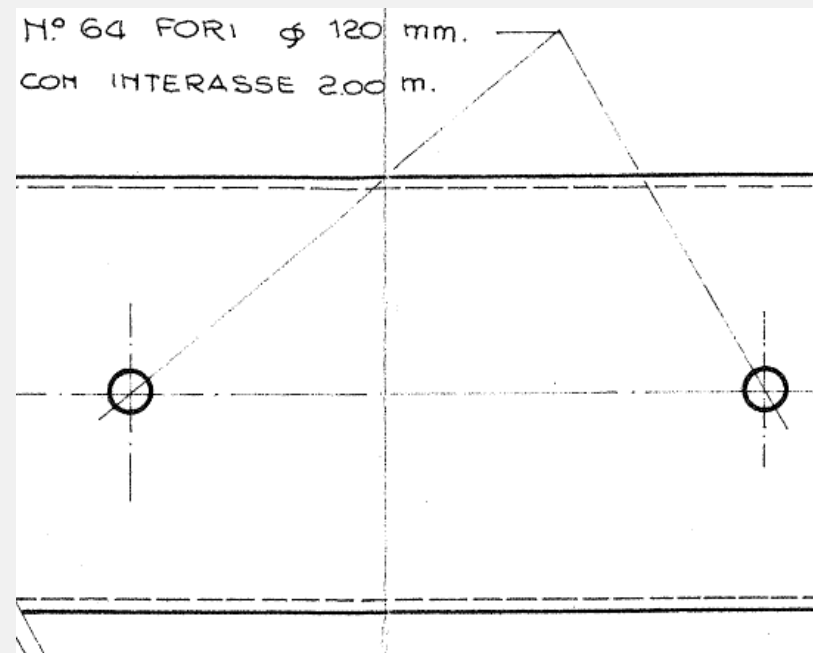
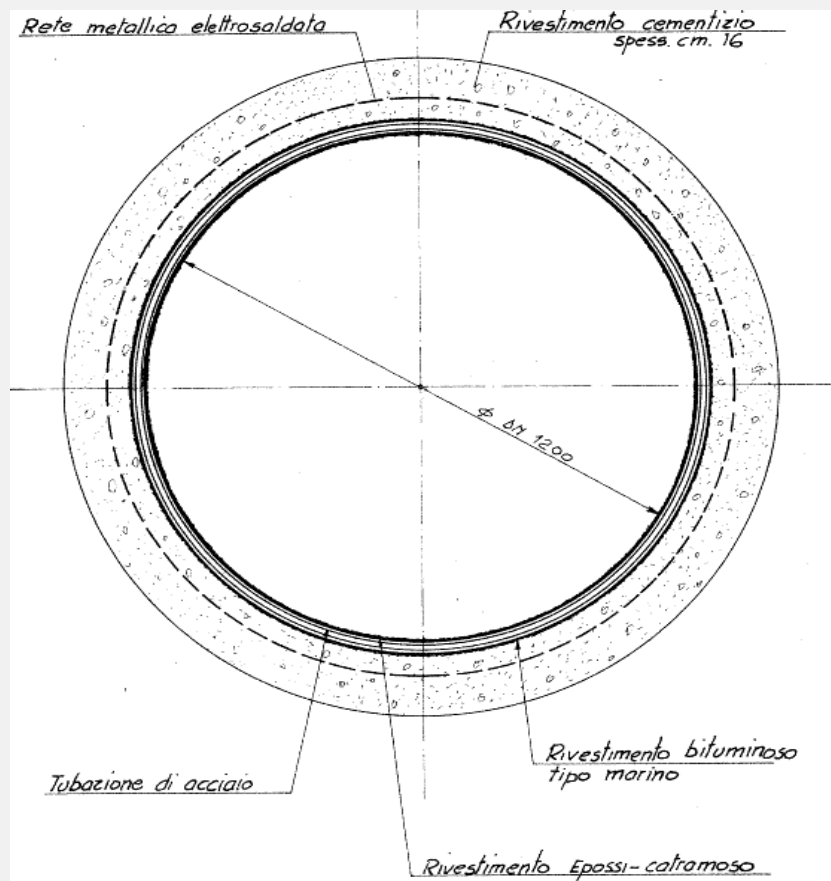
Ortofoto della Lama Balice ove ha origine la condotta sottomarina

Vista della foce della Lama Balice ove ha origine la condotta sottomarina



CARATTERISTICHE STRUTTURALI CONDOTTA ESISTENTE

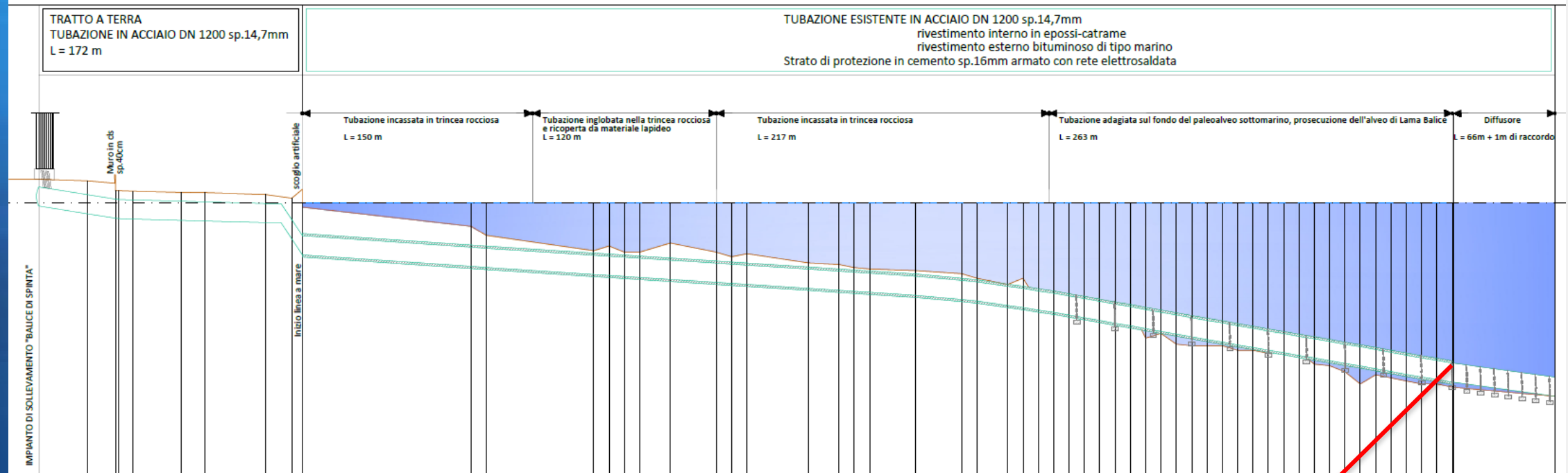
L'emissario dell'impianto di depurazione di Bari Ovest è stato realizzato con tubazione in acciaio del diametro interno di DN 1200mm con rivestimento interno epossi-catramoso ed esterno bituminoso di tipo marino, e appesantimento con rivestimento cementizio, dello spessore di 16 cm.



All'estremità di tale condotta è posto un diffusore della lunghezza di 66m, costituito da tubazione del diametro interno DN 1200 mm in polietilene ad alta densità, dotato di 64 bocche laterali (32+32) di diametro Φ 0.12 m lungo la sua lunghezza disposte con interasse di 2 m.

ANDAMENTO PLANO-ALTIMETRICO DELLA CONDOTTA

Disposizione altimetrica della condotta esistente (ALL.3: Progetto condotta EAAP 1980)

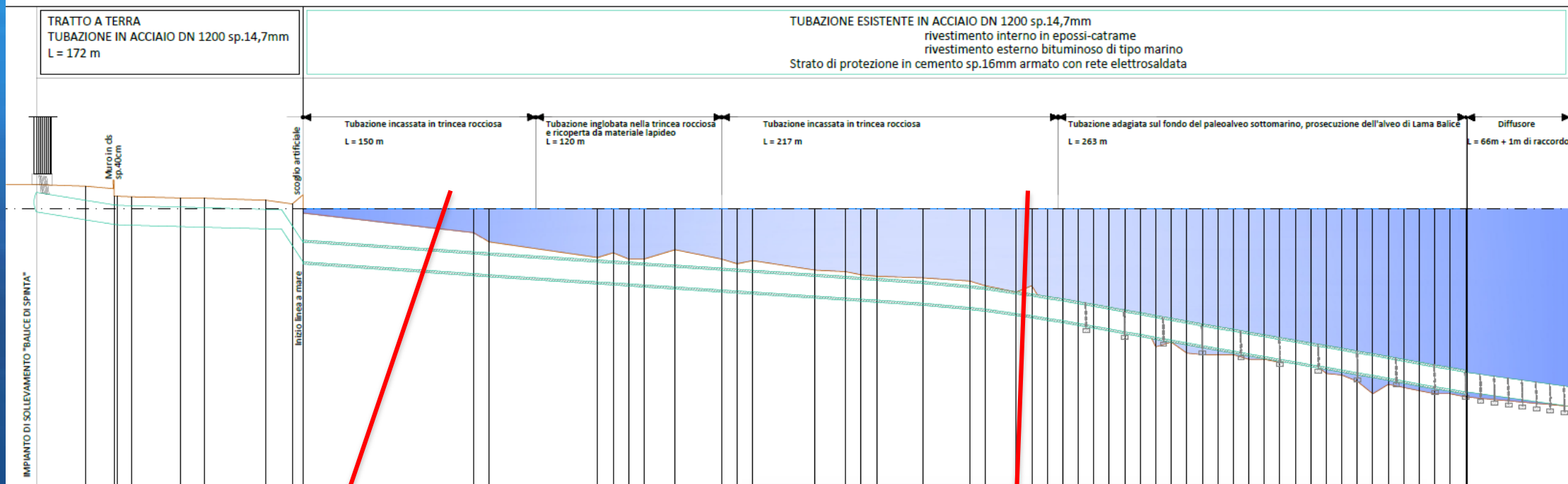


Particolare della flangia di collegamento tra condotta e diffusore.



ANDAMENTO PLANO-ALTIMETRICO DELLA CONDOTTA

Disposizione altimetrica della condotta esistente (ALL.3: Progetto condotta EAAP 1980)



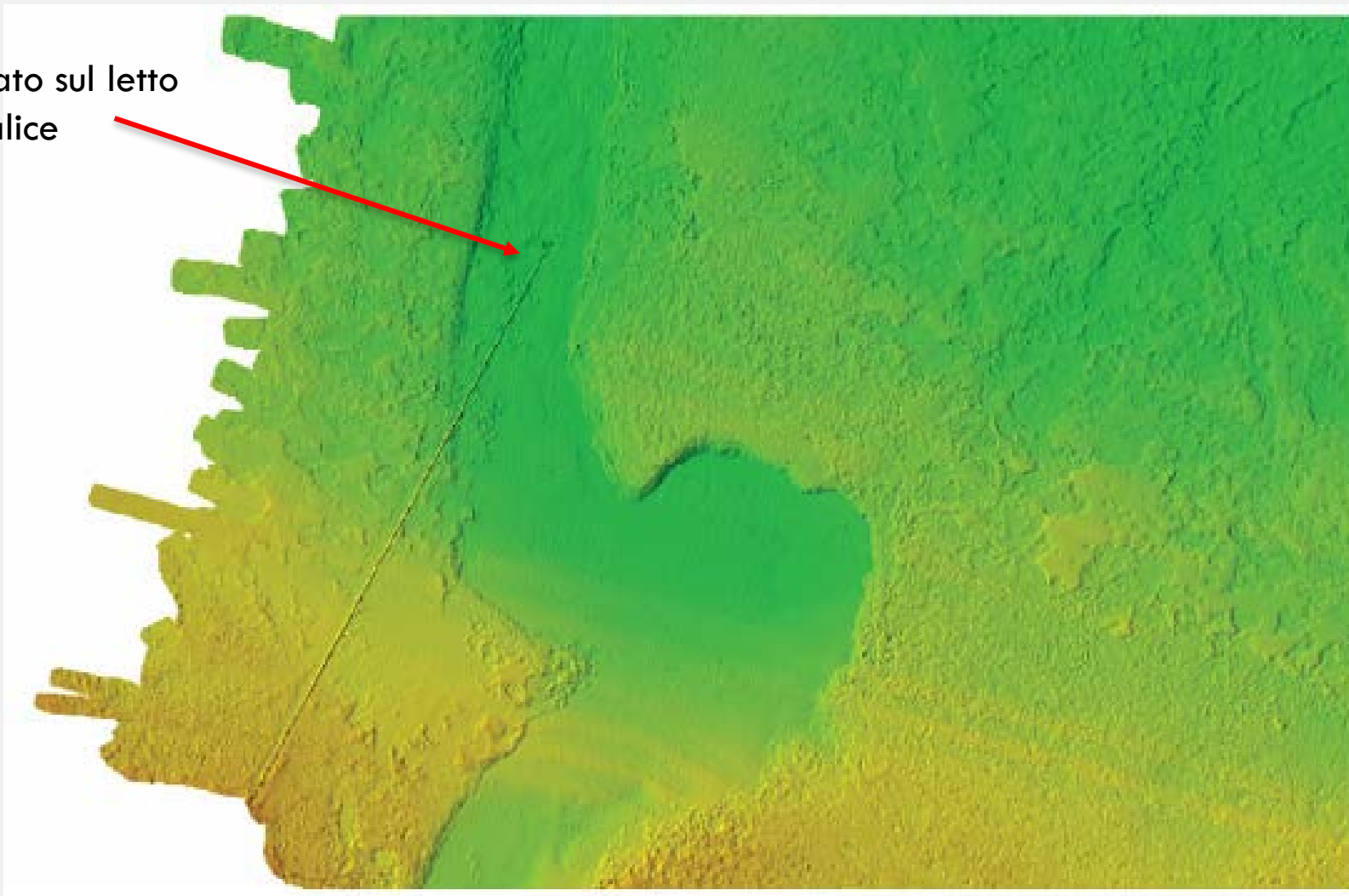
Intervallo
batimetrico
1-3 m



Intervallo
batimetrico
3-7 m

ANDAMENTO PLANO-ALTIMETRICO DELLA CONDOTTA

Diffusore posato sul letto
della lama Balice



Disposizione planimetrica della condotta esistente (Multibeam Coastal Consulting & Explortion 2007)

Inquadramento
geogr. e geomorf.

**Condotta
esistente**

Dati
analizzati

Criticità
strutturali

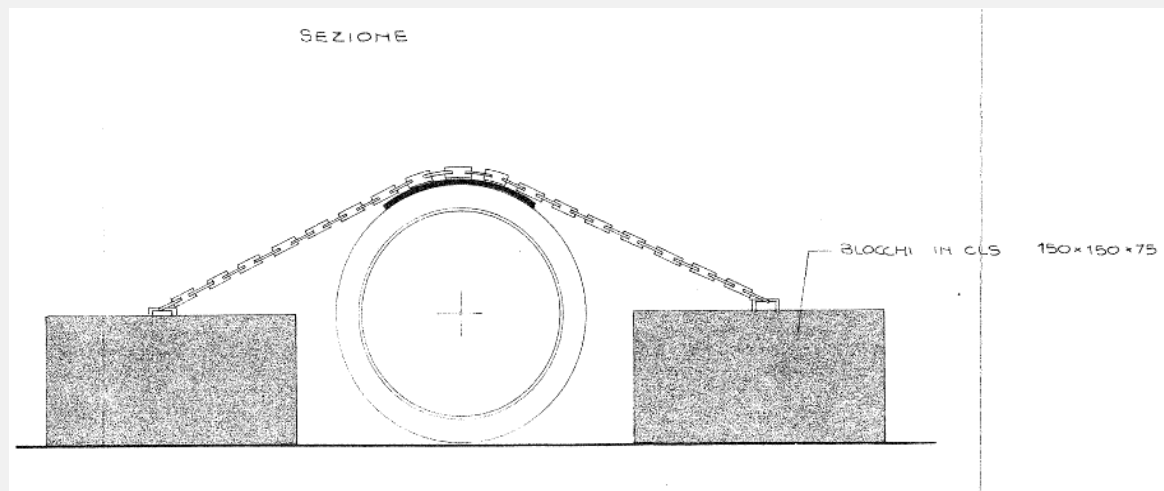
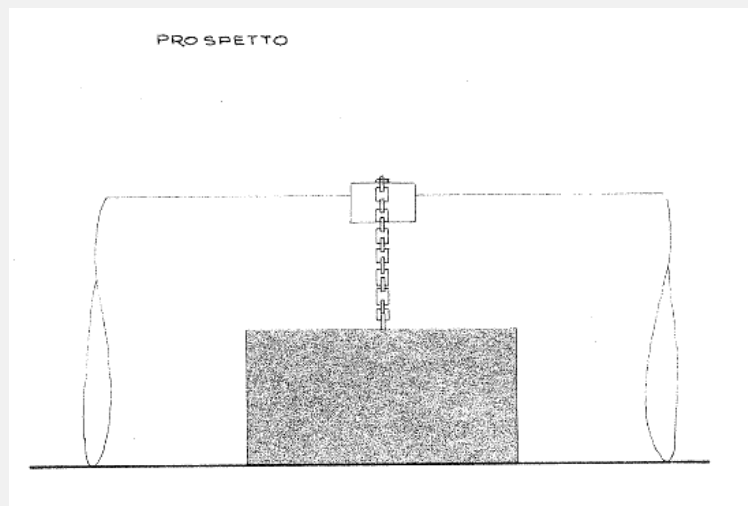
Criticità
idrauliche

Criticità
ambientali

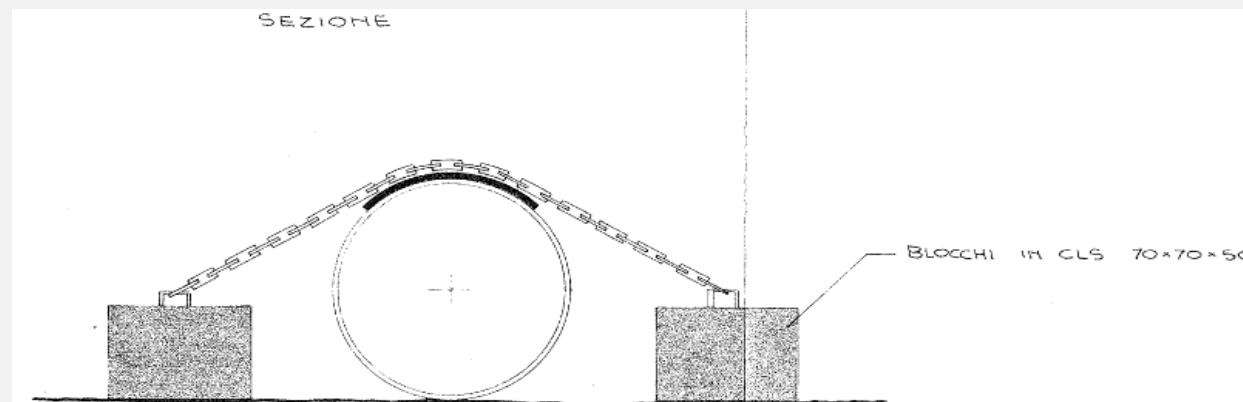
Conclusioni

PARTICOLARI COSTRUTTIVI: SISTEMI DI ANCORAGGIO

Dall'analisi degli allegati del progetto speciale n.10000 dell'EAAP "Lavori per il prolungamento a mare dell'emissario occidentale della fognatura di Bari ed opere complementari" risulta la presenza di undici blocchi di ancoraggio a servizio della condotta con interasse di circa 50m e sette per il diffusore con una spaziatura inferiore ai 9 m.

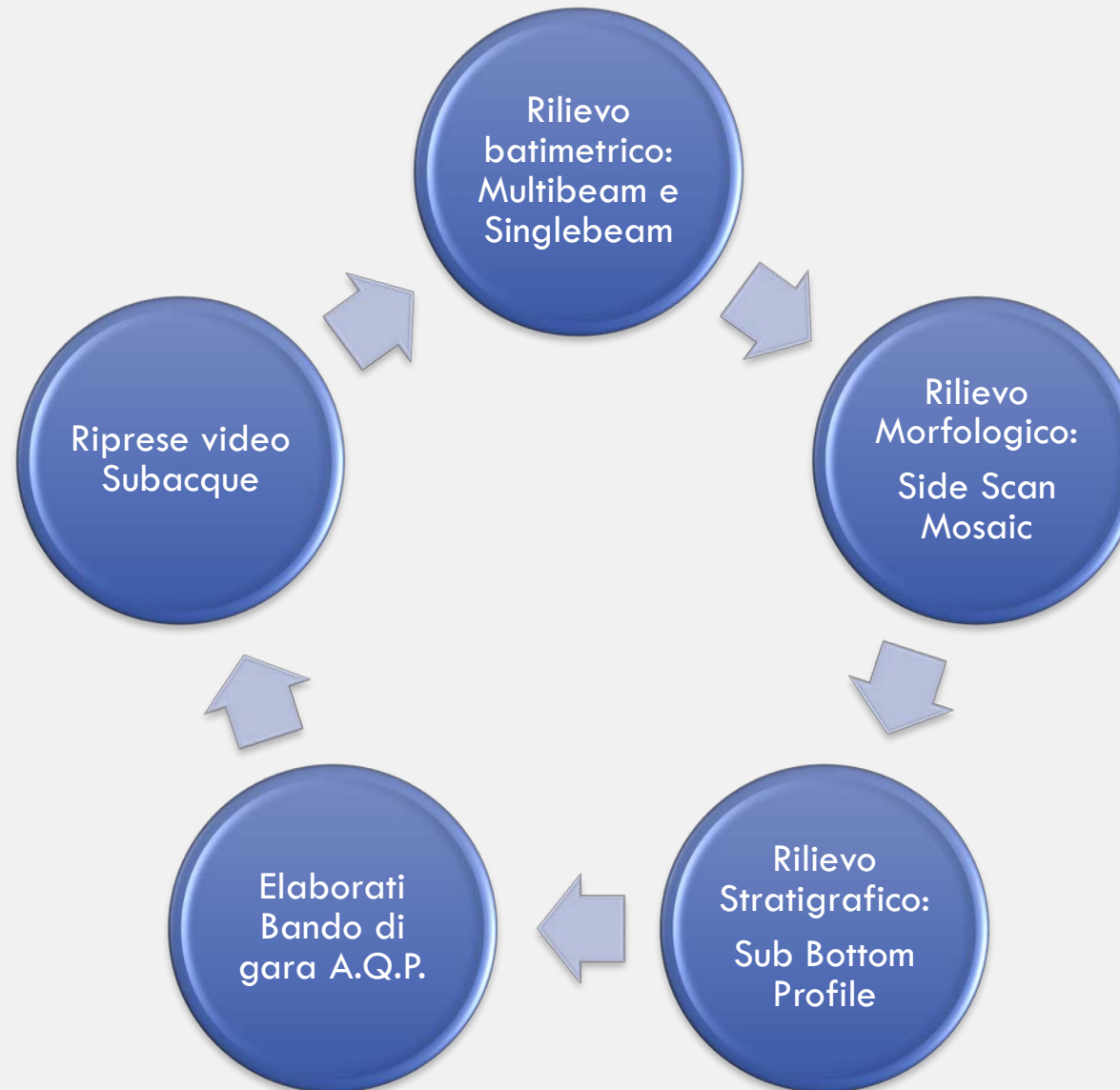


Blocchi di ancoraggio 1,50x1,50x0,75 m per la condotta



Blocchi di ancoraggio 0,70x0,70x0,50 m per il diffusore

DATI ANALIZZATI PER RILEVARE LE CRITICITÀ



Inquadramento
geogr. e geomorf.

Condotta
esistente

**Dati
analizzati**

Criticità
strutturali

Criticità
idrauliche

Criticità
ambientali

Conclusioni

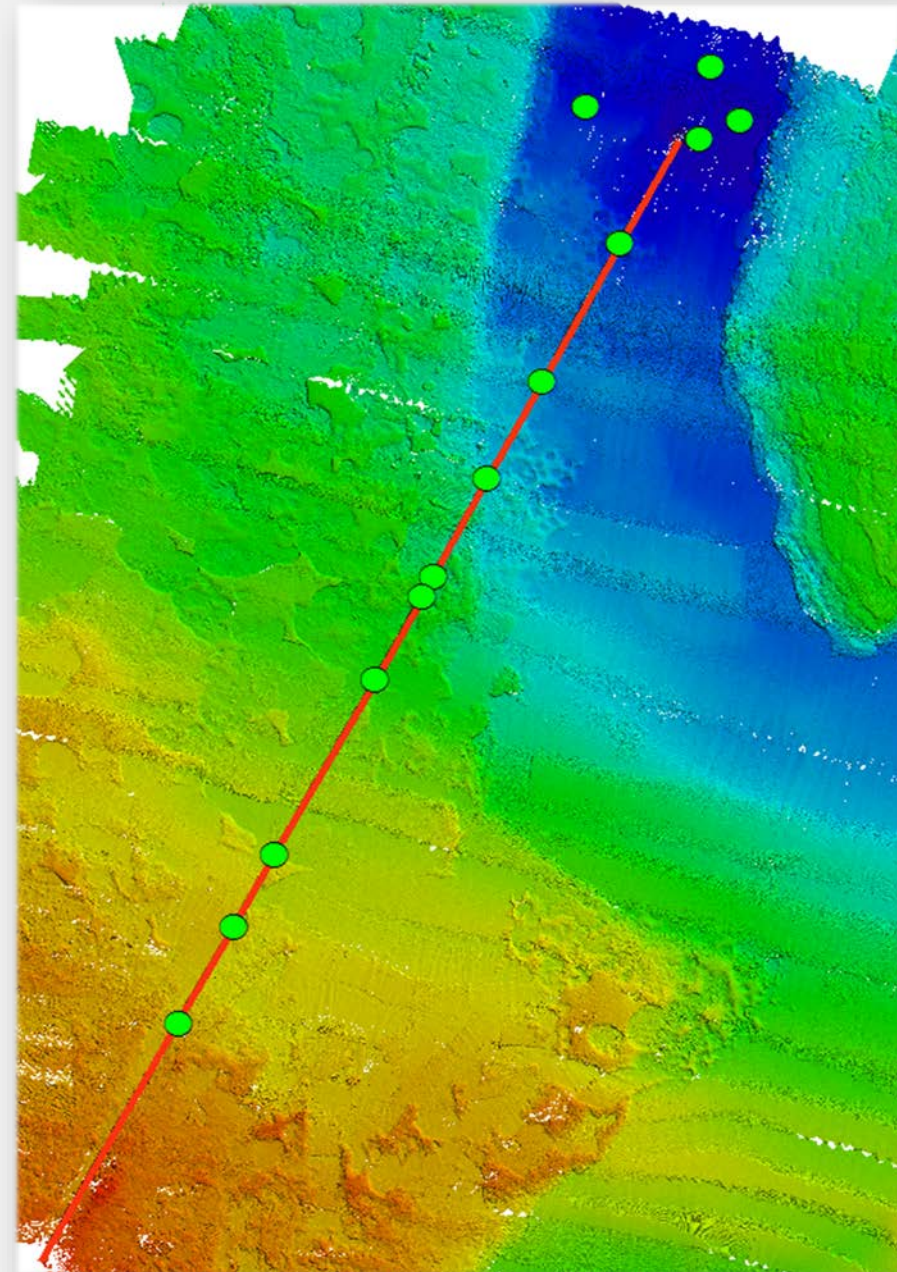
CRITICITÀ STRUTTRALI: SISTEMI DI ANCORAGGIO

Dall' analisi delle indagini commissionate nel 2007 alla Coastal Consulting & Explorations s.r.l. e nel 2014 al CoNISMa si sono riscontrate le criticità legate ai sistemi di ancoraggio.

La planimetria mostra la mancanza di tre blocchi sulla condotta, cinque sul diffusore e la non corretta spaziatura (non conforme ai dati di progetto)



Particolare catena di ancoraggio ancora collegata



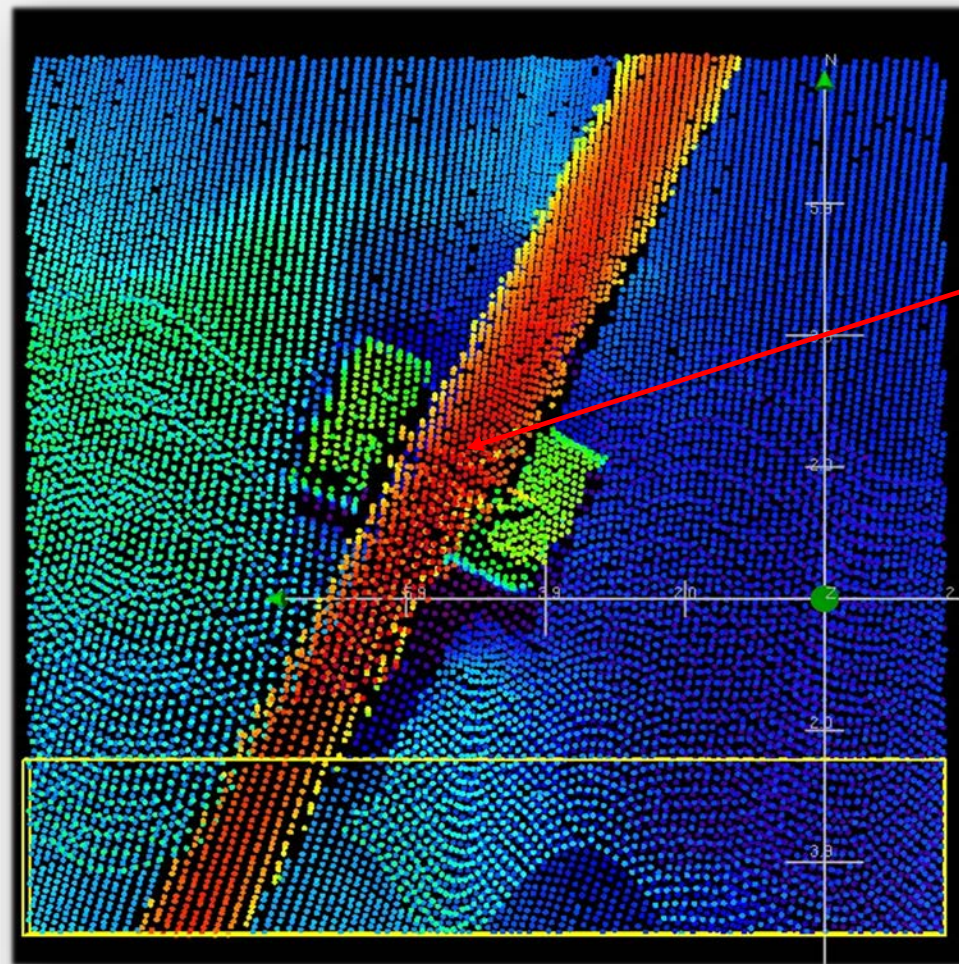
CRITICITÀ STRUTTRALI: SISTEMI DI ANCORAGGIO

Non tutti i blocchi ancora in posizione sono in funzione a causa o di spostamenti o addirittura della rottura della catena di collegamento (i blocchi dall'1 all'8 interessano la condotta, i restanti il diffusore). Le catene sono tutte in avanzato stato di corrosione e pertanto molto fragili.

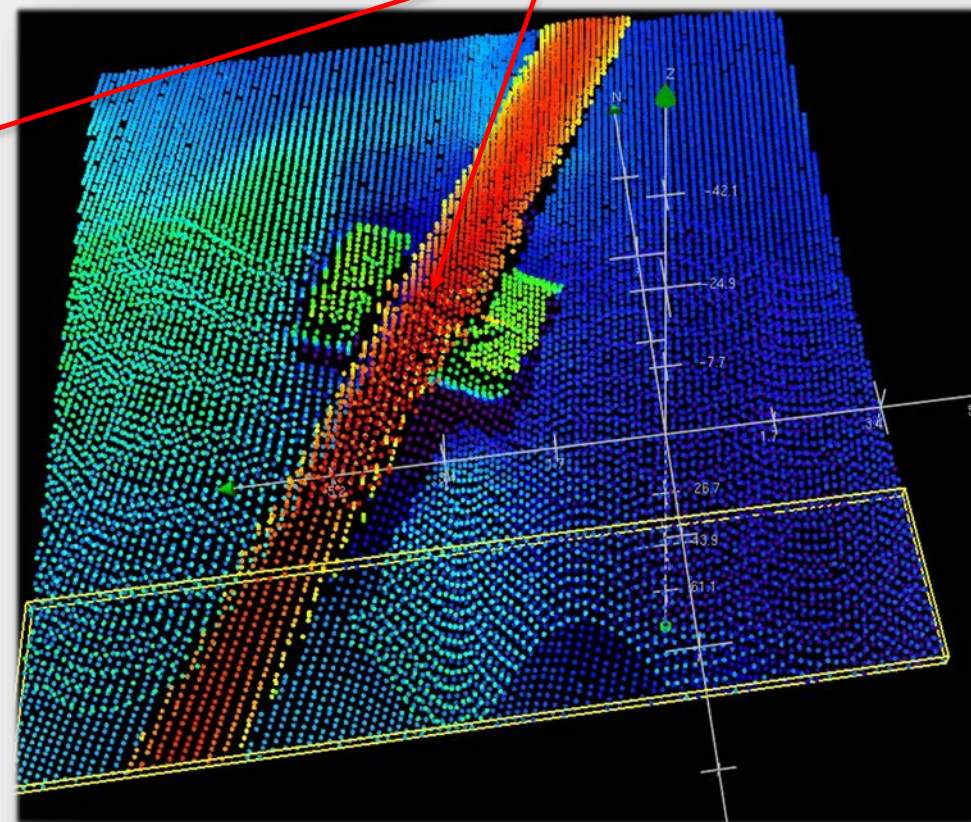
Ancoraggio	Stato ancoraggio	Interdistanza [m]	POINT_X [m]	POINT_Y [m]
0	blocchi in posizione/catena collegata	45.24	652110.93	4556646.85
1	blocchi in posizione/catena collegata	58.74	652083.61	4556594.85
2	blocchi in posizione/catena collegata	40.93	652064.13	4556558.85
3	blocchi in posizione/catena assente	41.72	652044.76	4556521.90
4	blocchi in posizione/catena collegata	8.39	652040.86	4556514.48
5	Blocchi non in corretta posizione/catena collegata	35.63	652023.88	4556483.15
6	blocchi in posizione/catena collegata	75.07	651988.15	4556417.12
7	blocchi non in posizione/catena assente	30.48	651973.70	4556390.28
8	blocchi in posizione/catena assente	41.10	651954.10	4556354.16
9	blocchi sparsi	29.64	652098.80	4556698.10
10	blocchi sparsi	12.68	652139.31	4556685.86
11	blocchi sparsi	29.17	652143.50	4556713.22
12	blocchi sparsi	27.18	652153.93	4556693.19
13	punto finale diffusore	0.00	652127.06	4556689.13

Stato dei blocchi di ancoraggio.

CRITICITÀ STRUTTURALI: SISTEMI DI ANCORAGGIO CONDOTTA



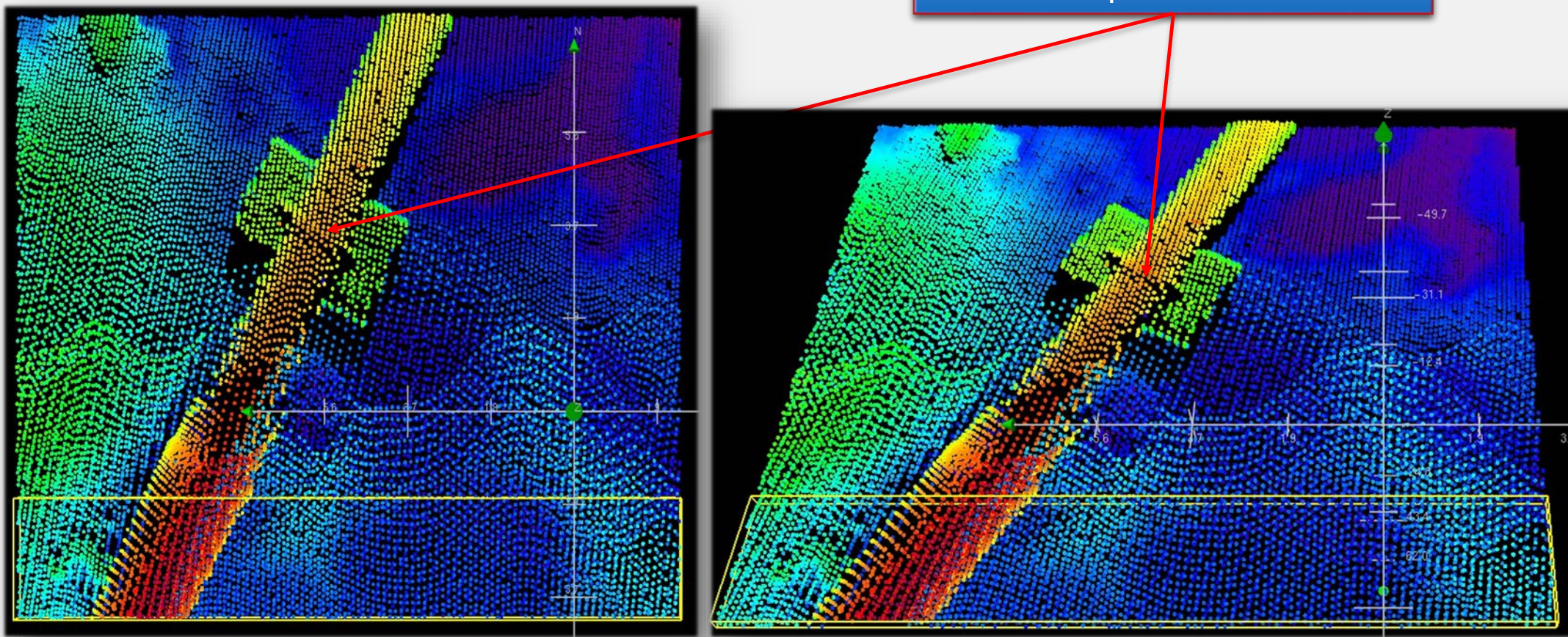
Catena collegata e blocchi in
posizione



Blocco 1: vista dall'alto e in 3D (correttamente in funzione nel 2007).

CRITICITÀ STRUTTURALI: SISTEMI DI ANCORAGGIO CONDOTTA

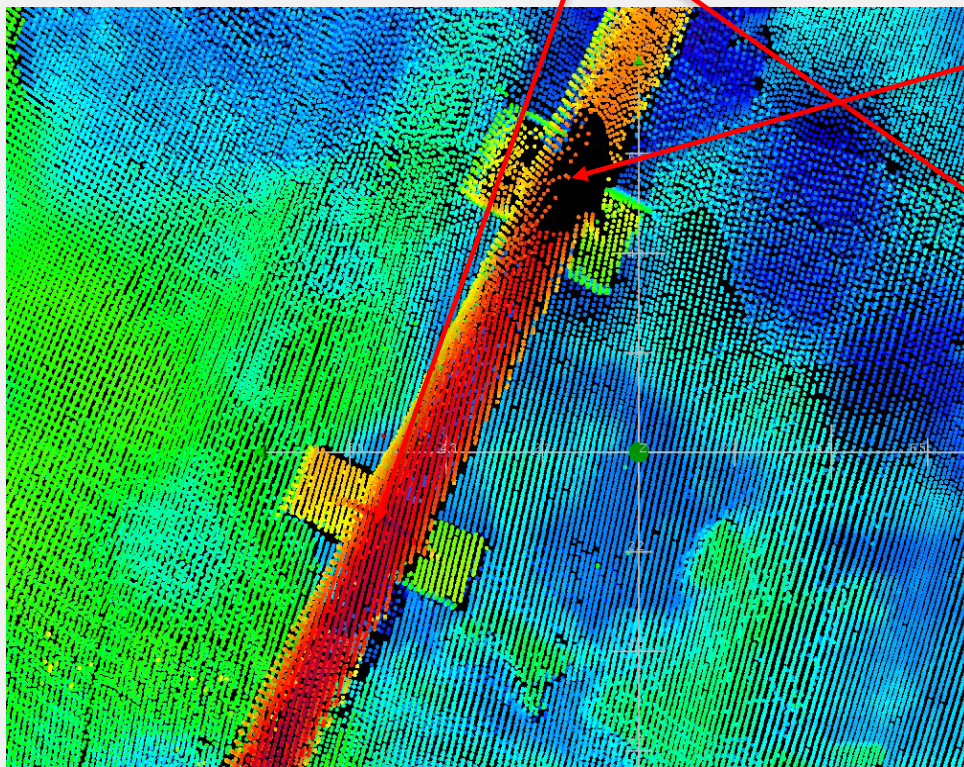
Catena collegata e blocchi in
posizione



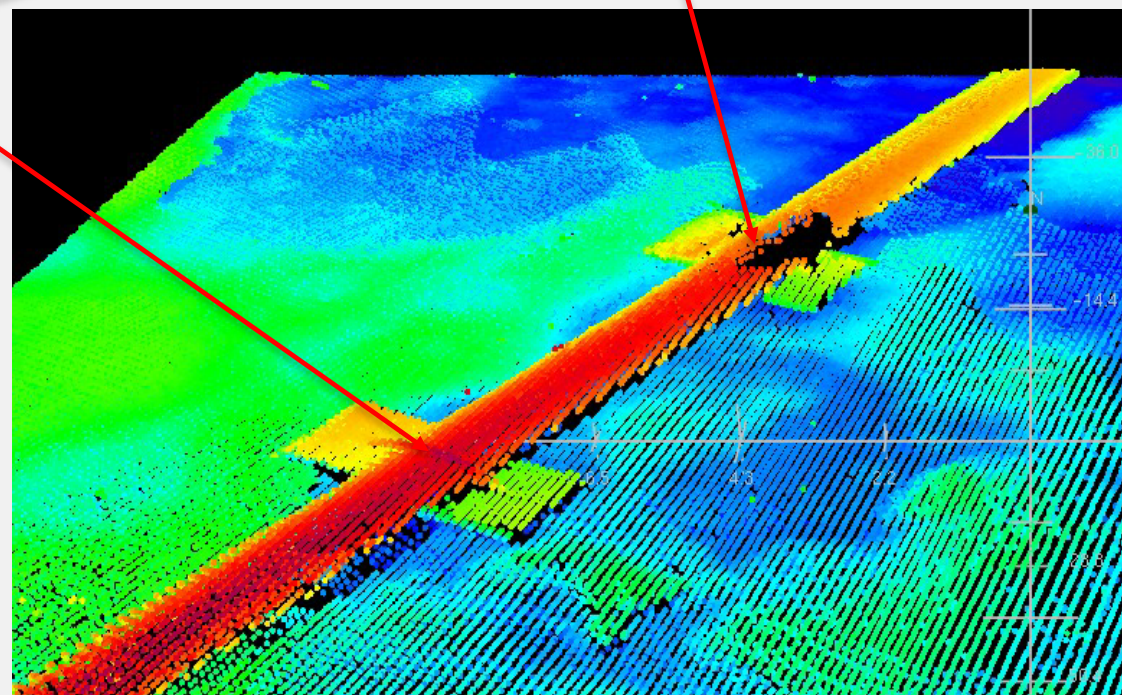
Blocco 2: vista dall'alto e in 3D (correttamente in funzione nel 2007).

CRITICITÀ STRUTTURALI: SISTEMI DI ANCORAGGIO CONDOTTA

Catena collegata e blocchi in
posizione



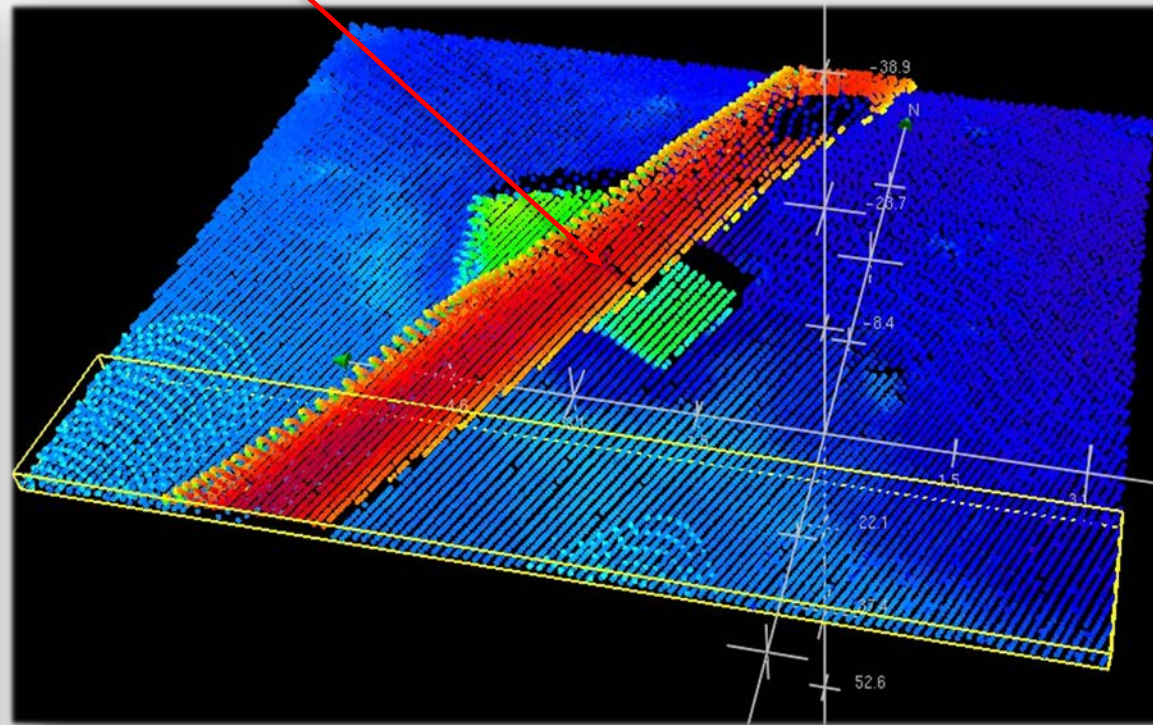
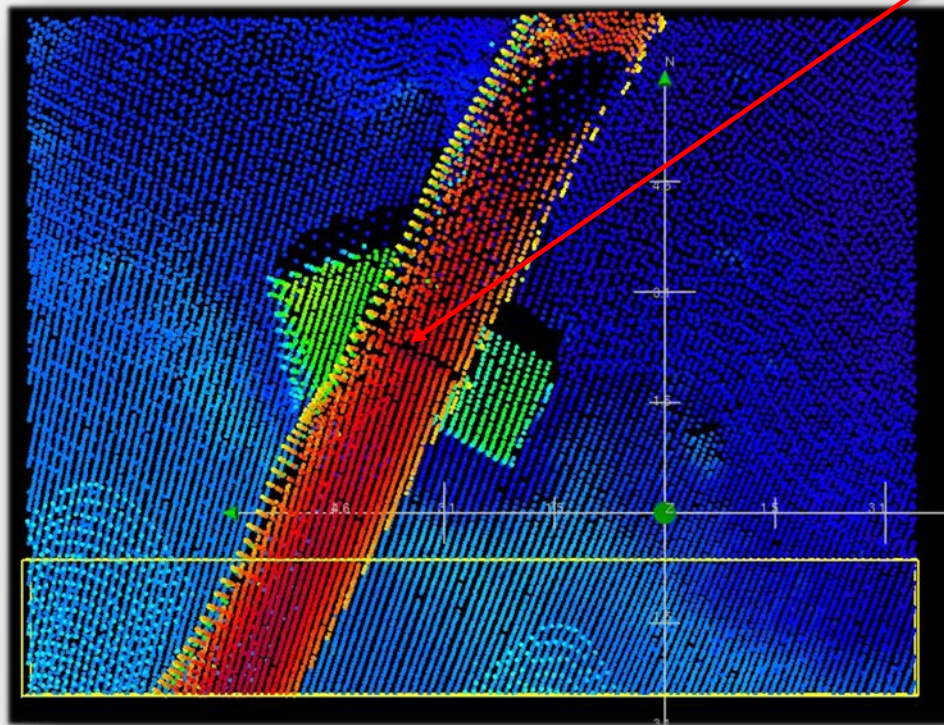
Catena assente



Blocchi 3 e 4: vista dall'alto e in 3D (4 correttamente in funzione e 3 privo di catena nel 2007).

CRITICITÀ STRUTTURALI: SISTEMI DI ANCORAGGIO CONDOTTA

Catena collegata e blocchi ruotati



Blocco 5: vista dall'alto e in 3D (non correttamente in funzione nel 2007).

Inquadramento
geogr. e geomorf.

Condotta
esistente

Dati
analizzati

**Criticità
strutturali**

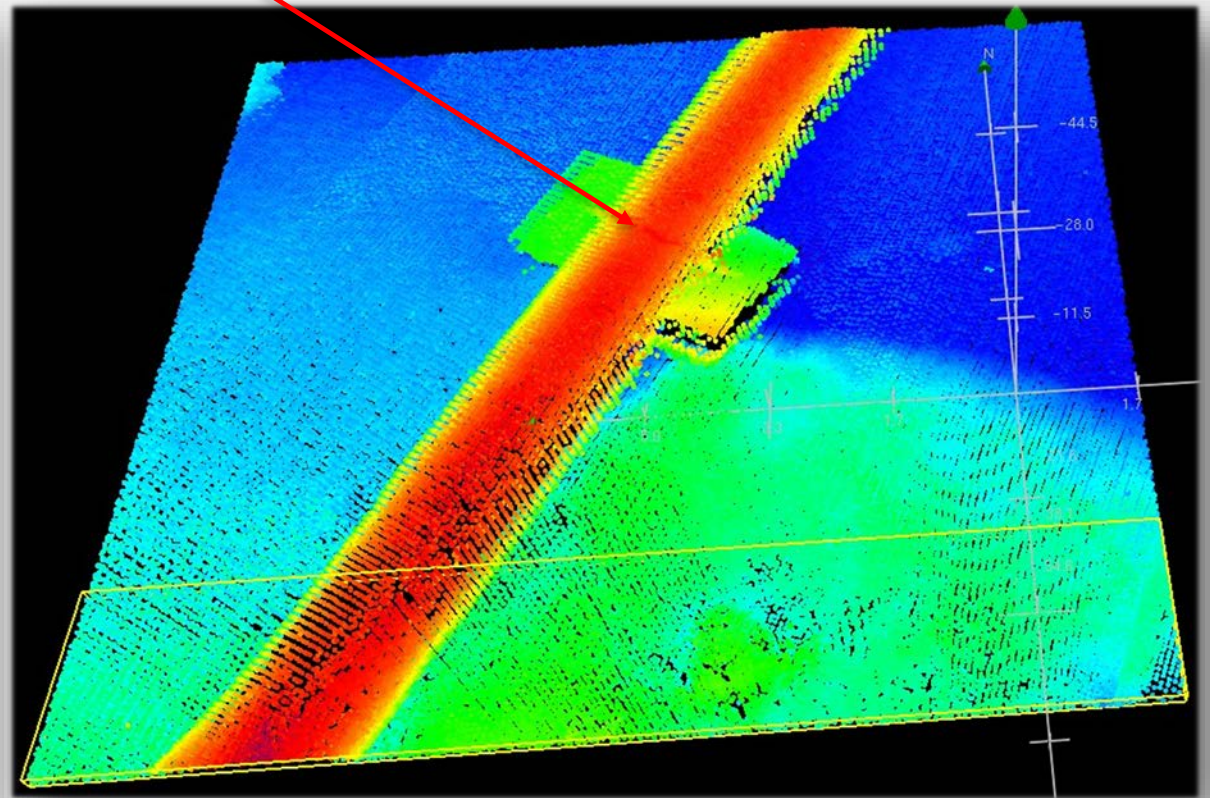
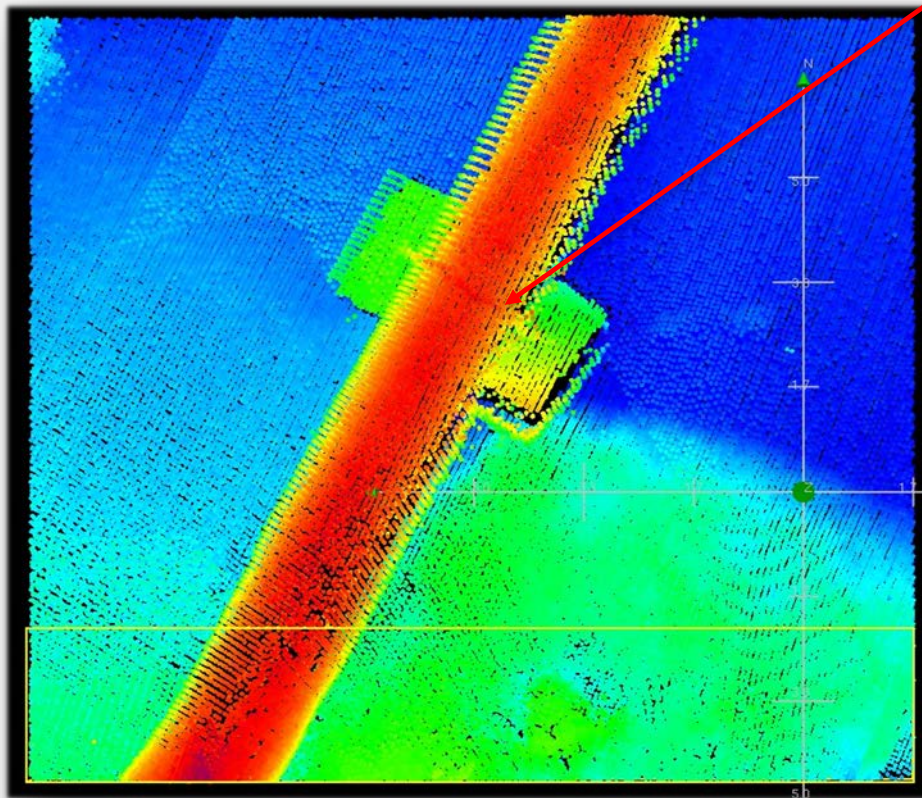
Criticità
idrauliche

Criticità
ambientali

Conclusioni

CRITICITÀ STRUTTURALI: SISTEMI DI ANCORAGGIO CONDOTTA

Catena collegata e blocchi in
posizione



Blocco 6: vista dall'alto e in 3D (correttamente in funzione nel 2007).

Inquadramento
geogr. e geomorf.

Condotta
esistente

Dati
analizzati

**Criticità
strutturali**

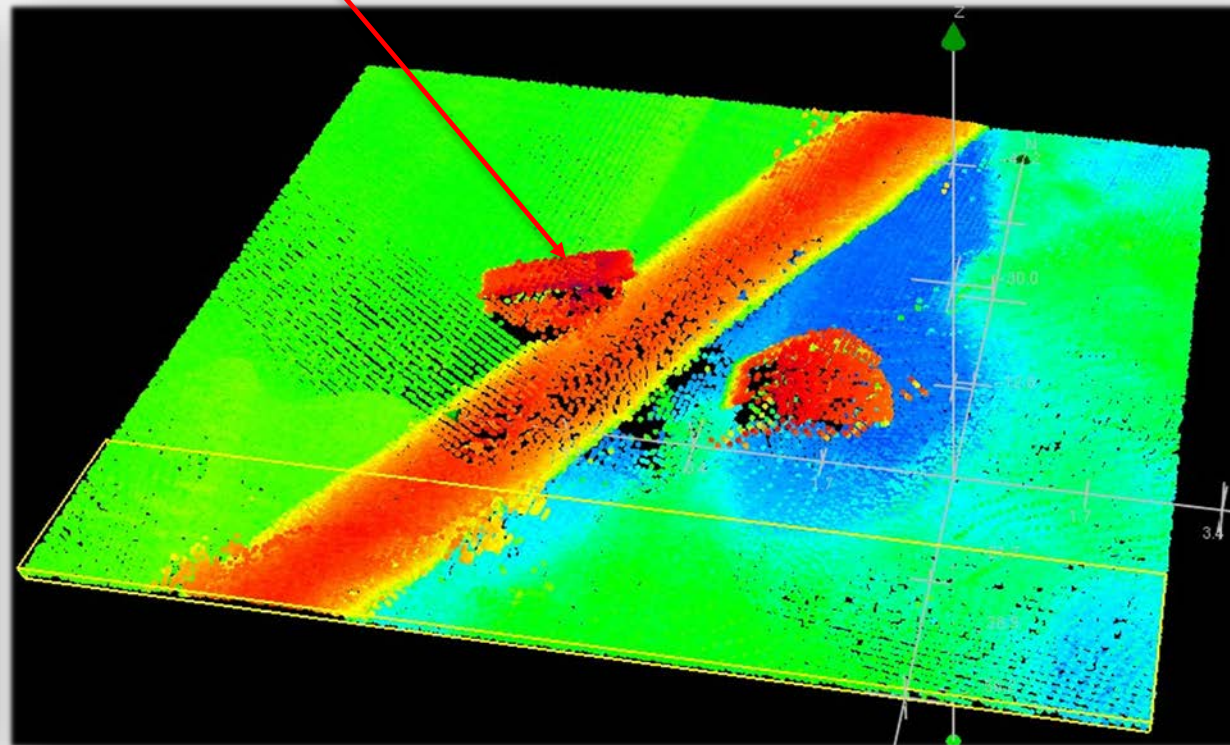
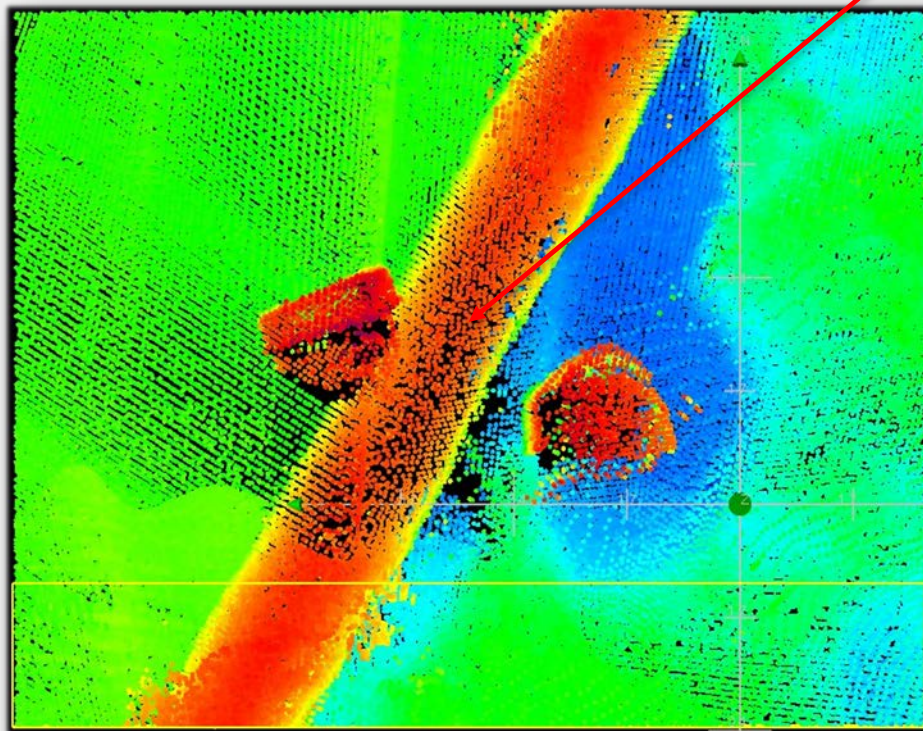
Criticità
idrauliche

Criticità
ambientali

Conclusioni

CRITICITÀ STRUTTURALI: SISTEMI DI ANCORAGGIO CONDOTTA

Catena rotta e blocchi ribaltati



Blocco 7: vista dall'alto e in 3D (non in funzione nel 2007).

Inquadramento
geogr. e geomorf.

Condotta
esistente

Dati
analizzati

**Criticità
strutturali**

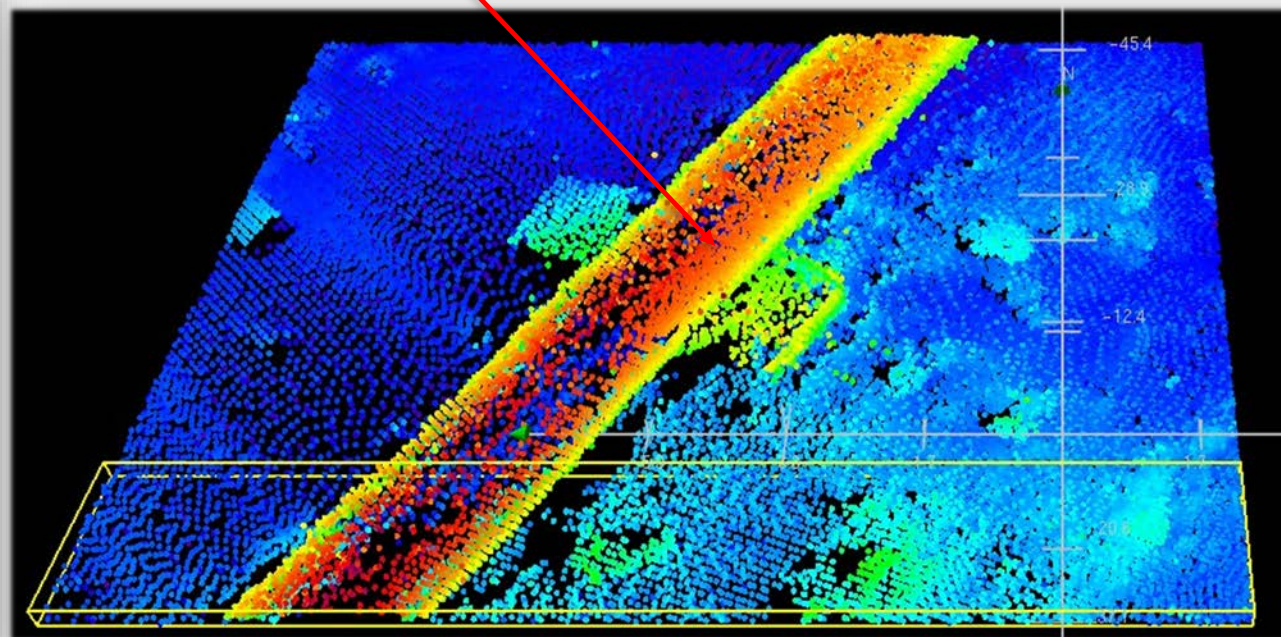
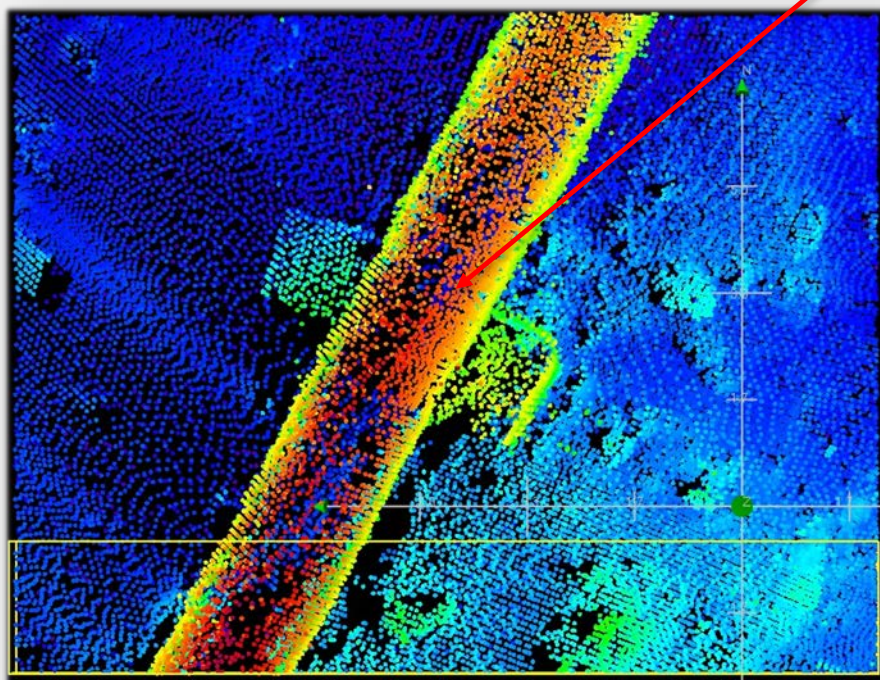
Criticità
idrauliche

Criticità
ambientali

Conclusioni

CRITICITÀ STRUTTURALI: SISTEMI DI ANCORAGGIO CONDOTTA

Catena rotta e blocchi spostati



Blocco 8: vista dall'alto e in 3D (non in funzione nel 2007).

Inquadramento
geogr. e geomorf.

Condotta
esistente

Dati
analizzati

**Criticità
strutturali**

Criticità
idrauliche

Criticità
ambientali

Conclusioni

CRITICITÀ STRUTTURALI: SISTEMI DI ANCORAGGIO

Inquadramento
geogr. e geomorf.

Condotta
esistente

Dati
analizzati

**Criticità
strutturali**

Criticità
idrauliche

Criticità
ambientali

Conclusioni



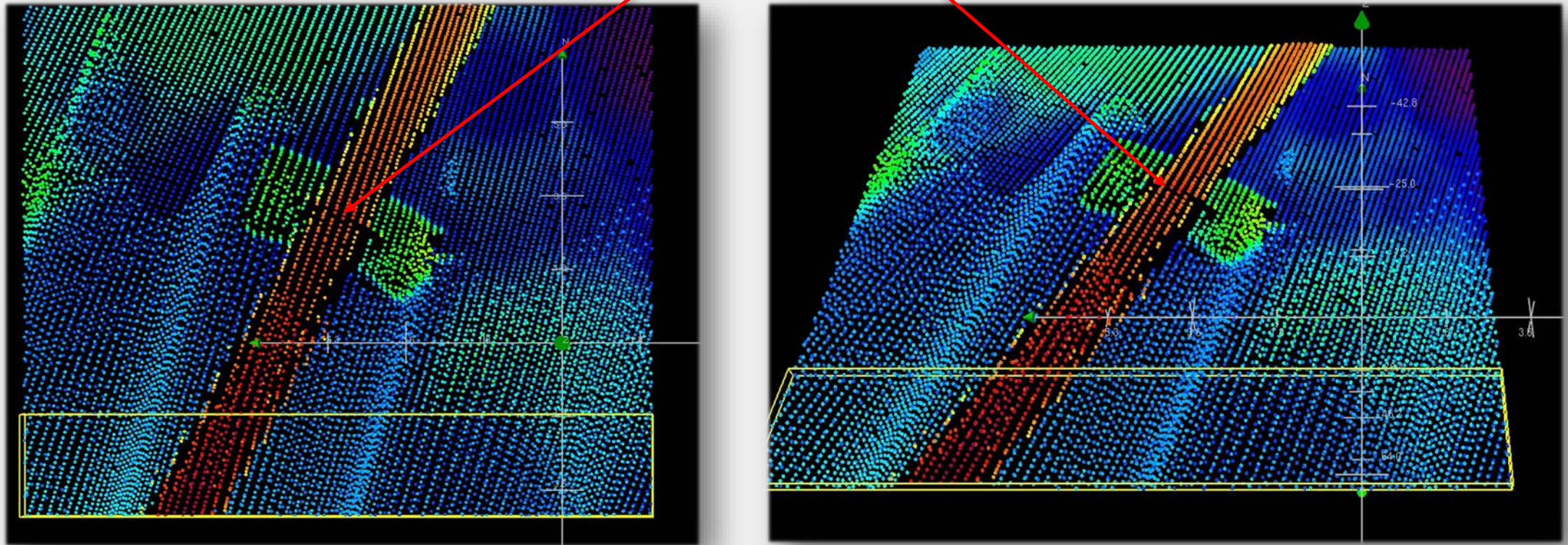
Blocco di ancoraggio: ripresa video 2007 ad opera della Coastal Consulting & Explorations

RILIEVO DELLO STATO ATTUALE E DELLE CRITICITÀ
DELLA CONDOTTA SOTTOMARINA DI BARI OVEST



CRITICITÀ STRUTTURALI: SISTEMI DI ANCORAGGIO DIFFUSORE

Catena rotta e blocchi spostati



Blocco 0: vista dall'alto e in 3D (in funzione nel 2007).

Inquadramento
geogr. e geomorf.

Condotta
esistente

Dati
analizzati

**Criticità
strutturali**

Criticità
idrauliche

Criticità
ambientali

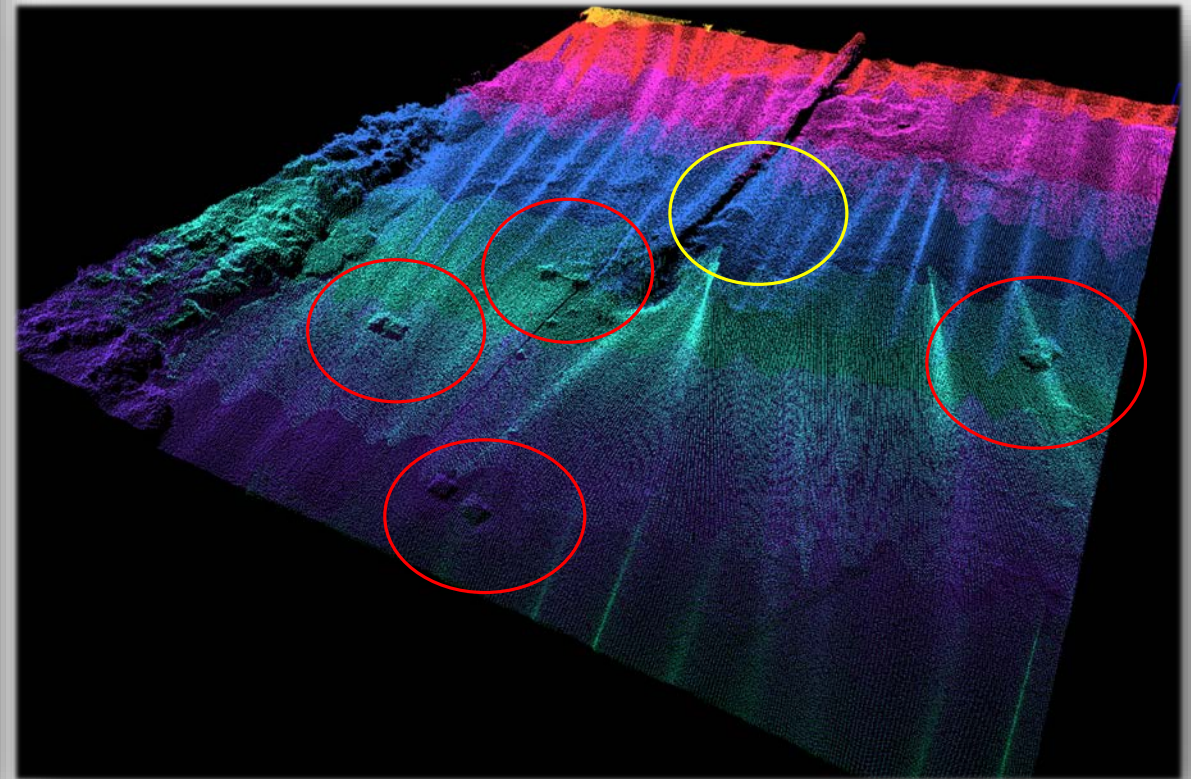
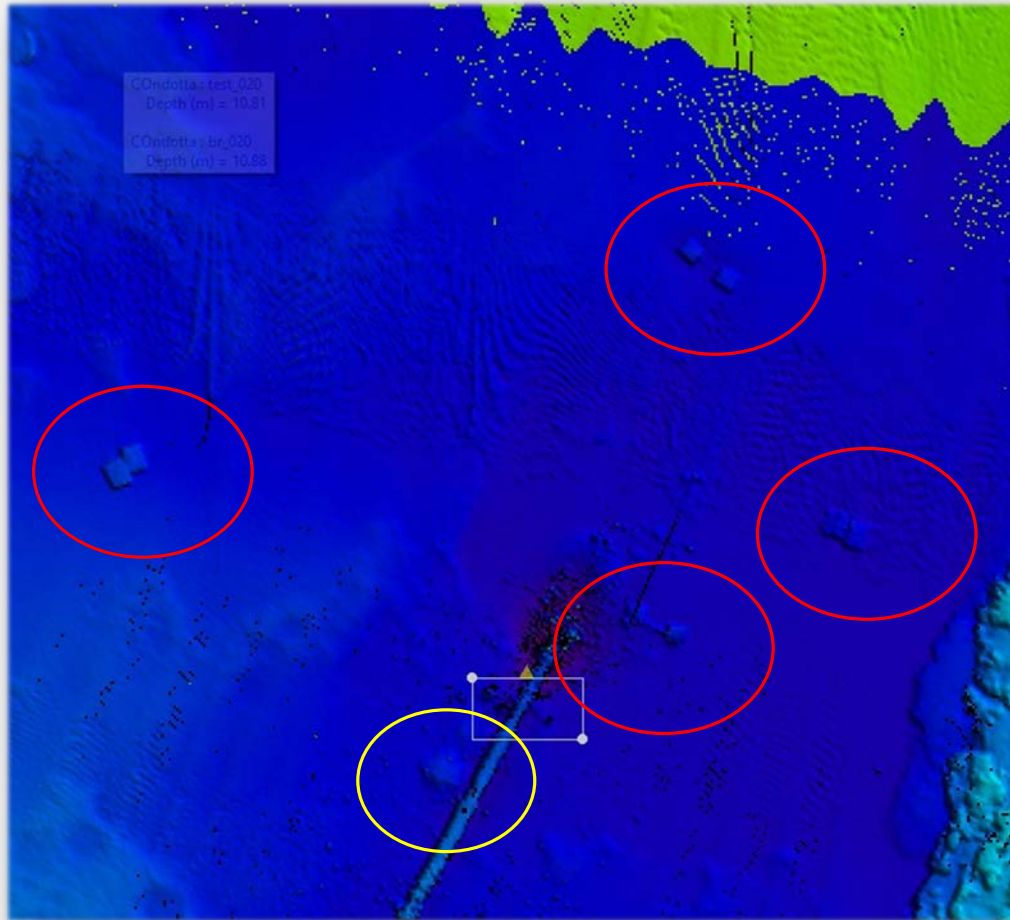
Conclusioni

RILIEVO DELLO STATO ATTUALE E DELLE CRITICITÀ
DELLA CONDOTTA SOTTOMARINA DI BARI OVEST



CRITICITÀ STRUTTURALI: SISTEMI DI ANCORAGGIO DIFFUSORE

Blocchi sparsi in rossi ed in giallo
probabile blocco interrato



Blocchi sparsi: vista dall'alto e in 3D (non in funzione nel 2007).

Inquadramento
geogr. e geomorf.

Condotta
esistente

Dati
analizzati

**Criticità
strutturali**

Criticità
idrauliche

Criticità
ambientali

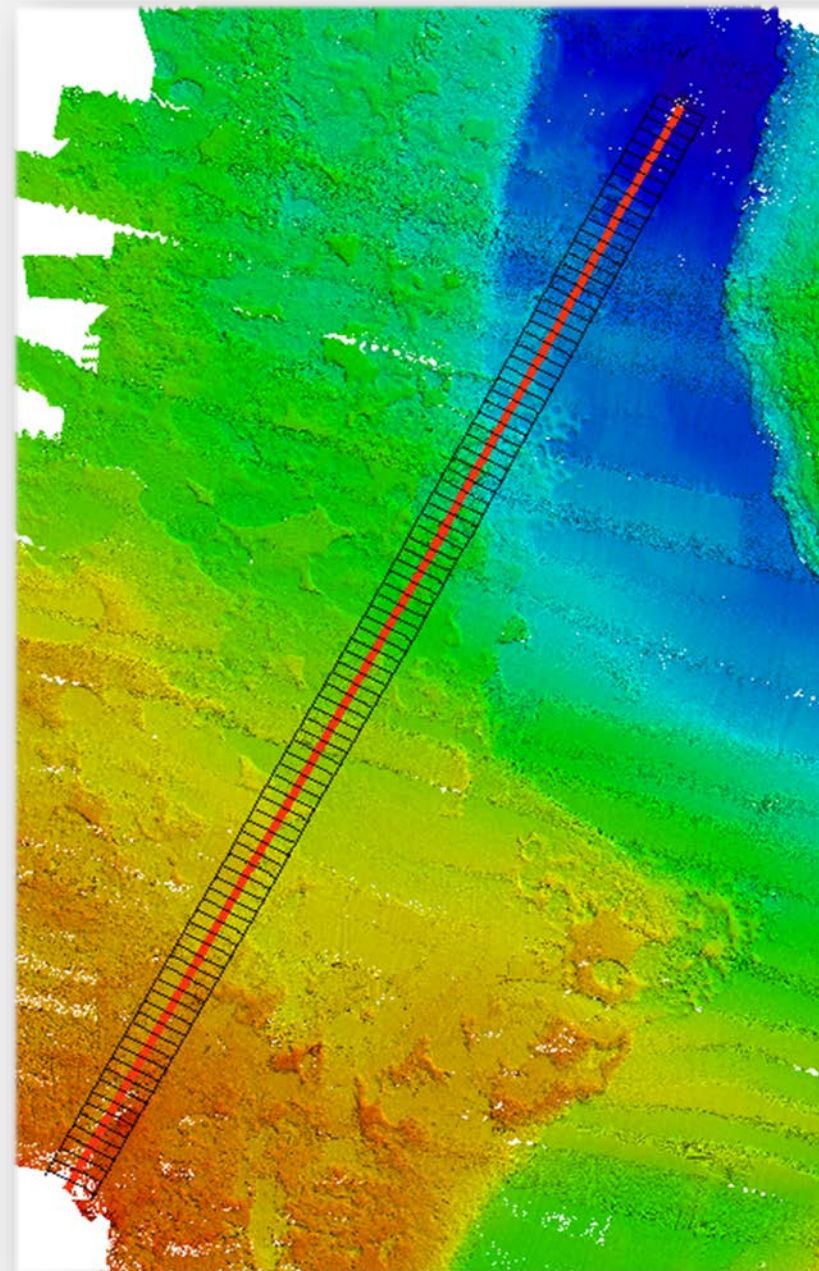
Conclusioni

CRITICITÀ STRUTTURALI: TRATTI SOSPESI

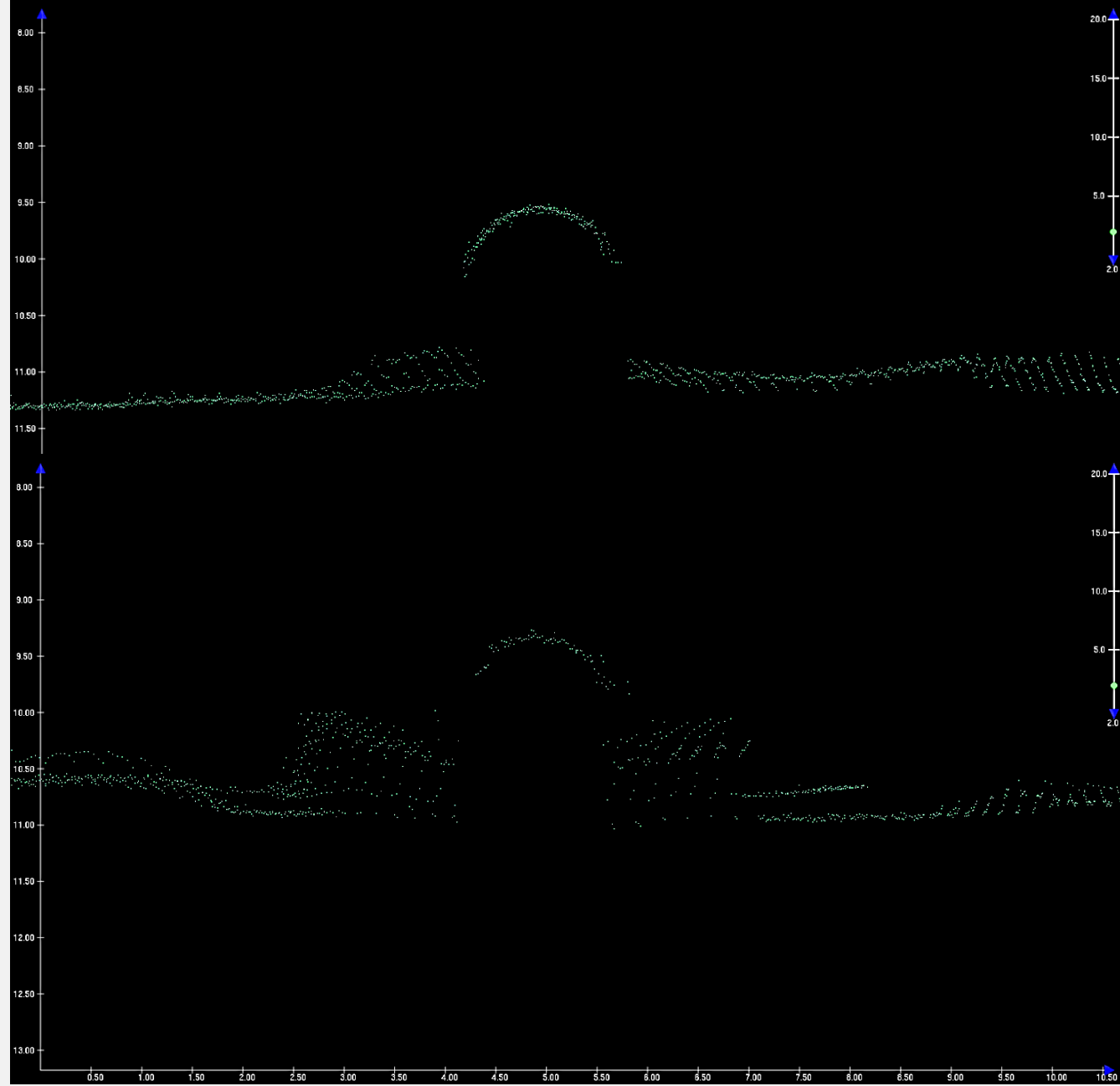
Partendo dai dati di multi beam si è suddiviso il tratto rilevato in 96 sezioni (numerate dal diffusore verso riva). Per ognuna si è calcolato il dislivello tra il fondale e la generatrice inferiore della condotta. Si sono ricavati tratti in sospensione che superano anche i 130-140 m (incompatibili con le caratteristiche strutturali).



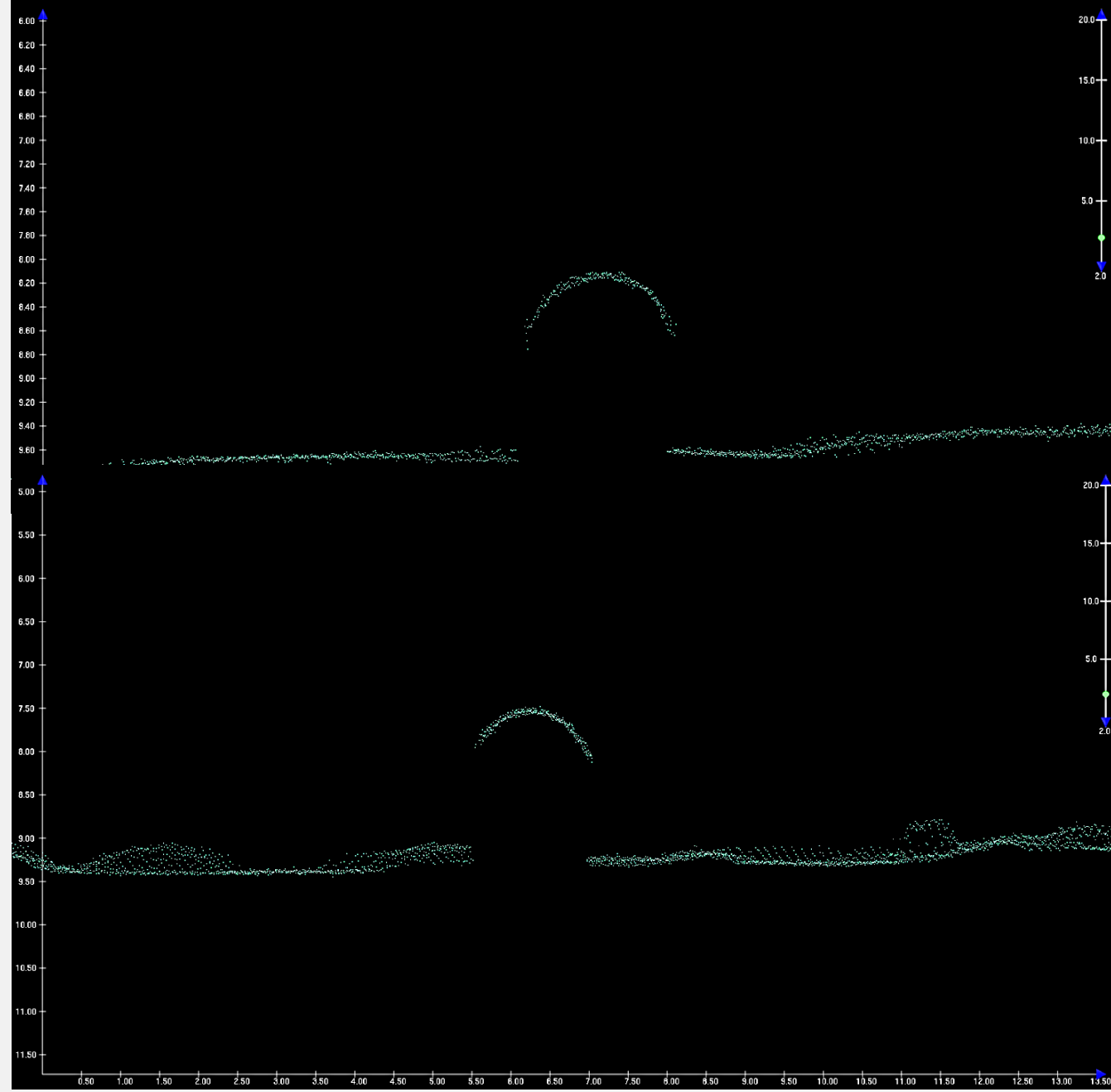
Tratto in campata (ripresa video CoNISMa 2014)



CRITICITÀ STRUTTURALI: TRATTI SOSPESI



CRITICITÀ STRUTTURALI: TRATTI SOSPESI



Inquadramento
geogr. e geomorf.

Condotta
esistente

Dati
analizzati

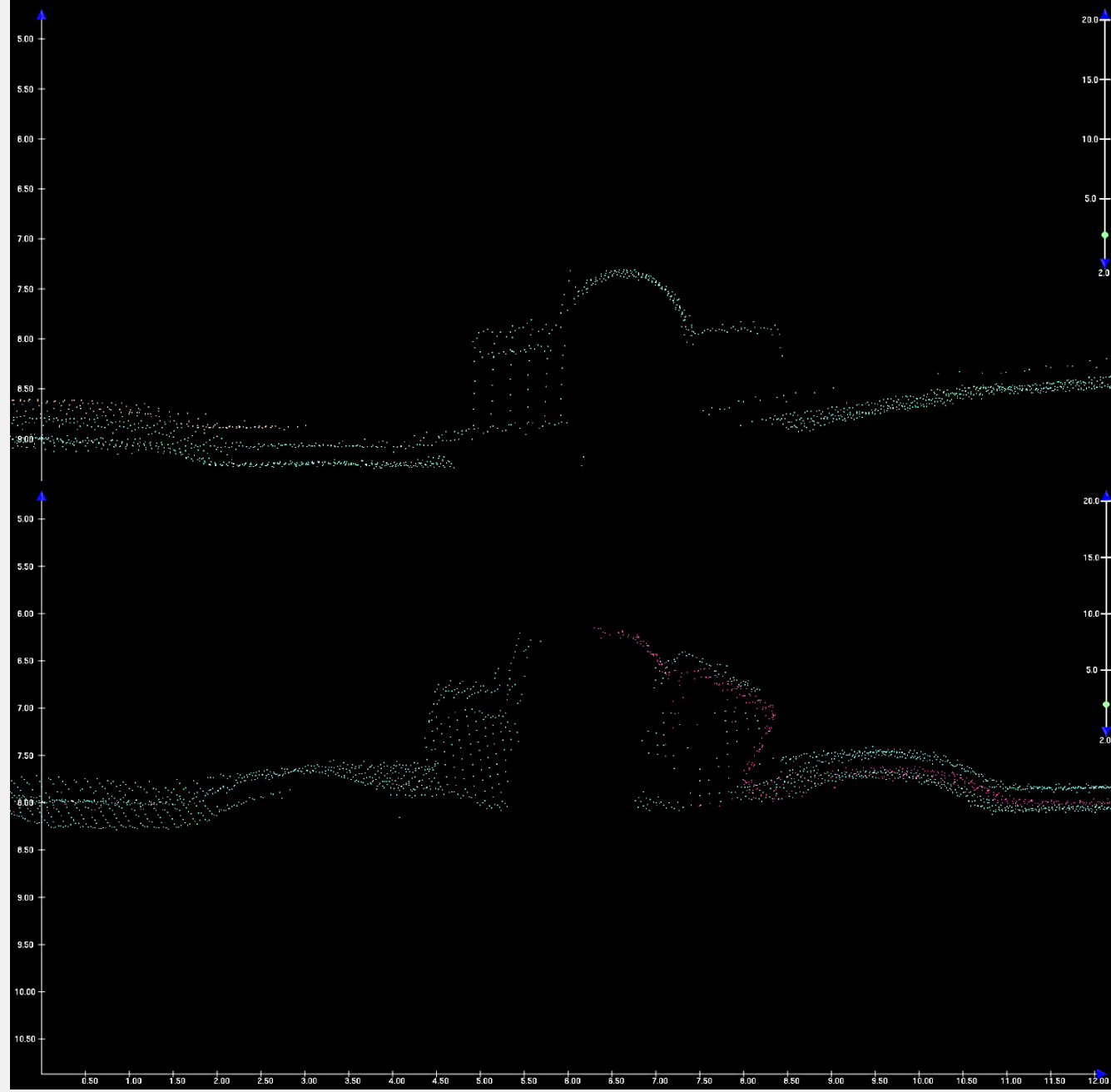
**Criticità
strutturali**

Criticità
idrauliche

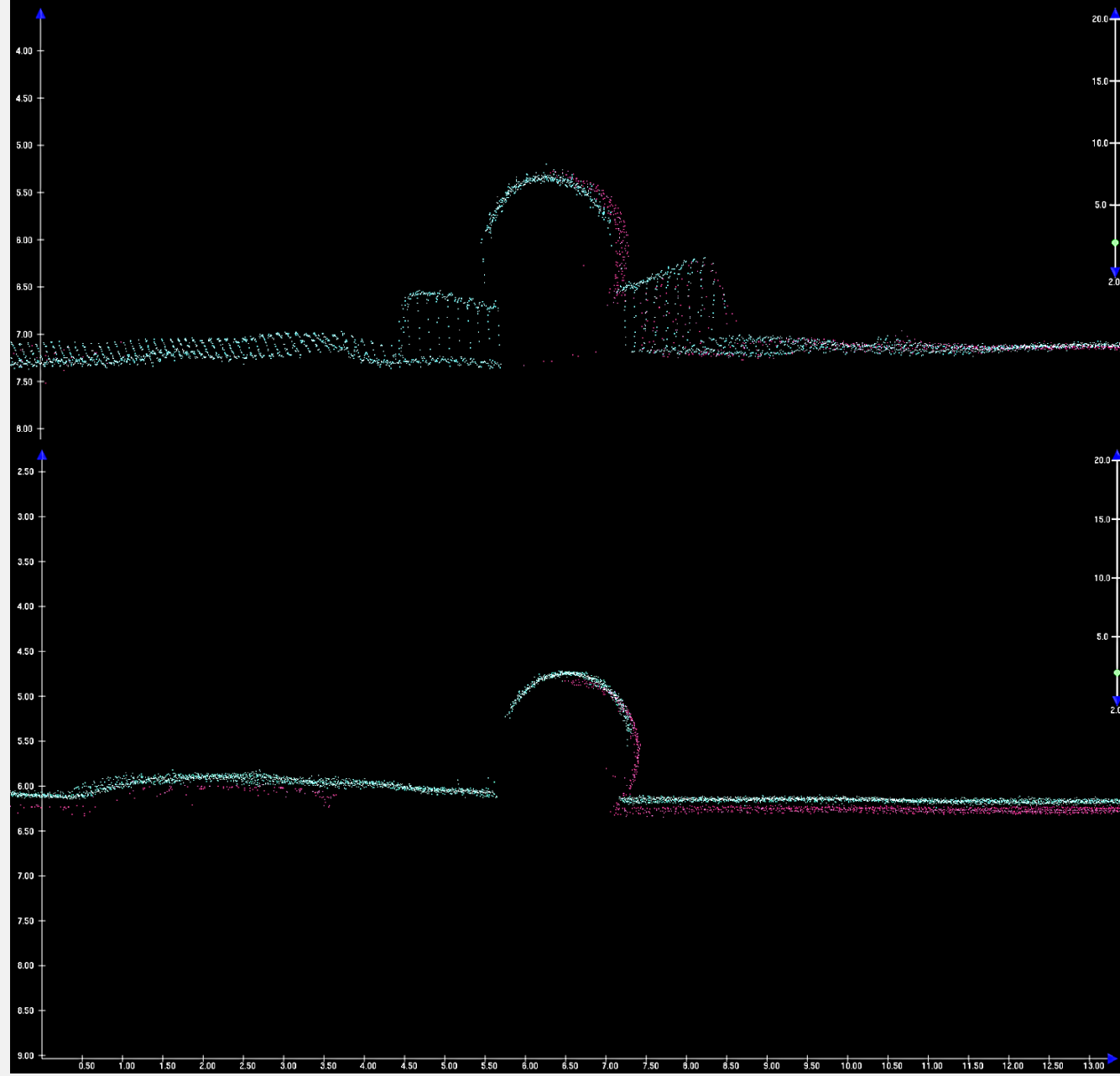
Criticità
ambientali

Conclusioni

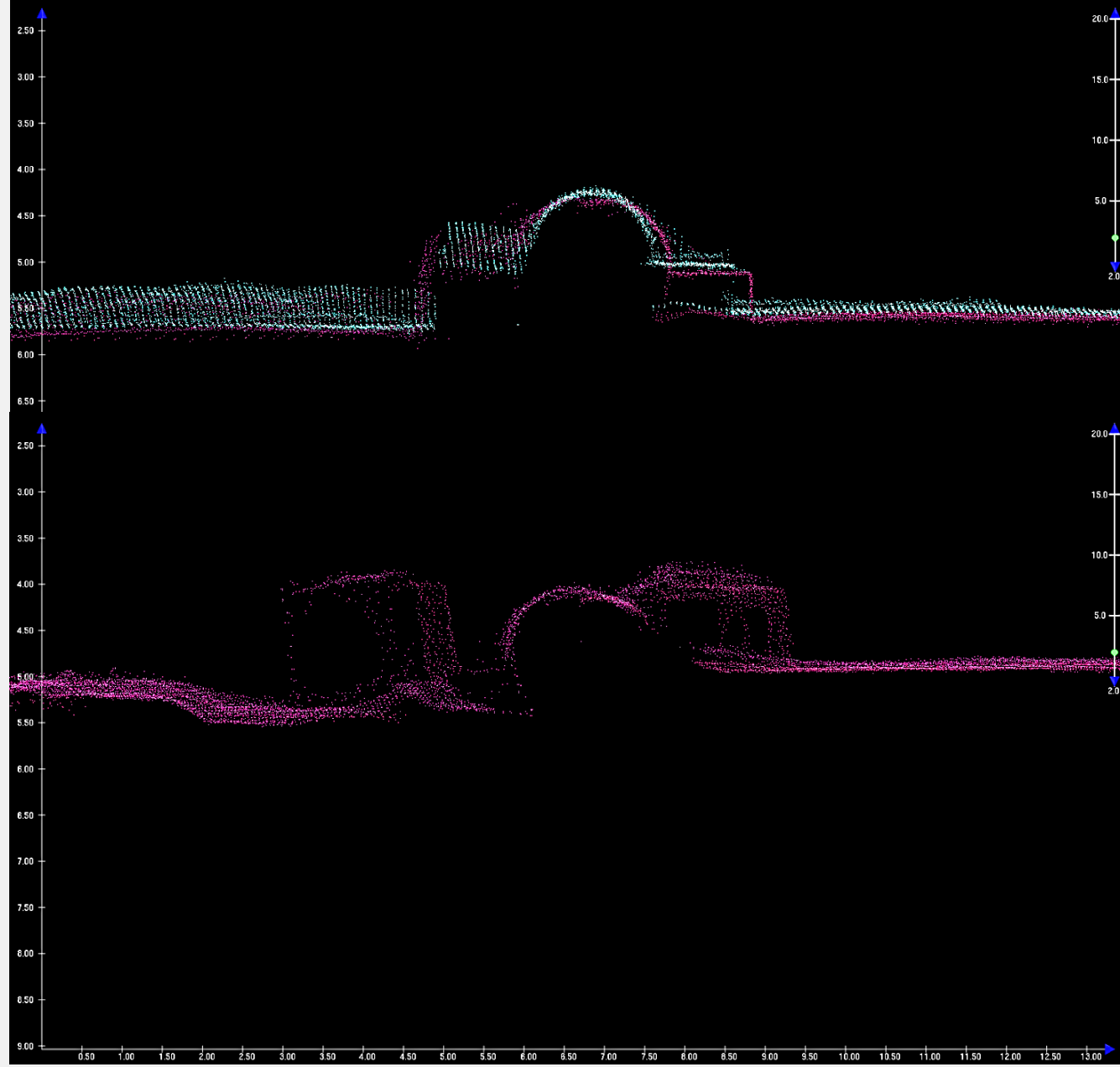
CRITICITÀ STRUTTURALI: TRATTI SOSPESI



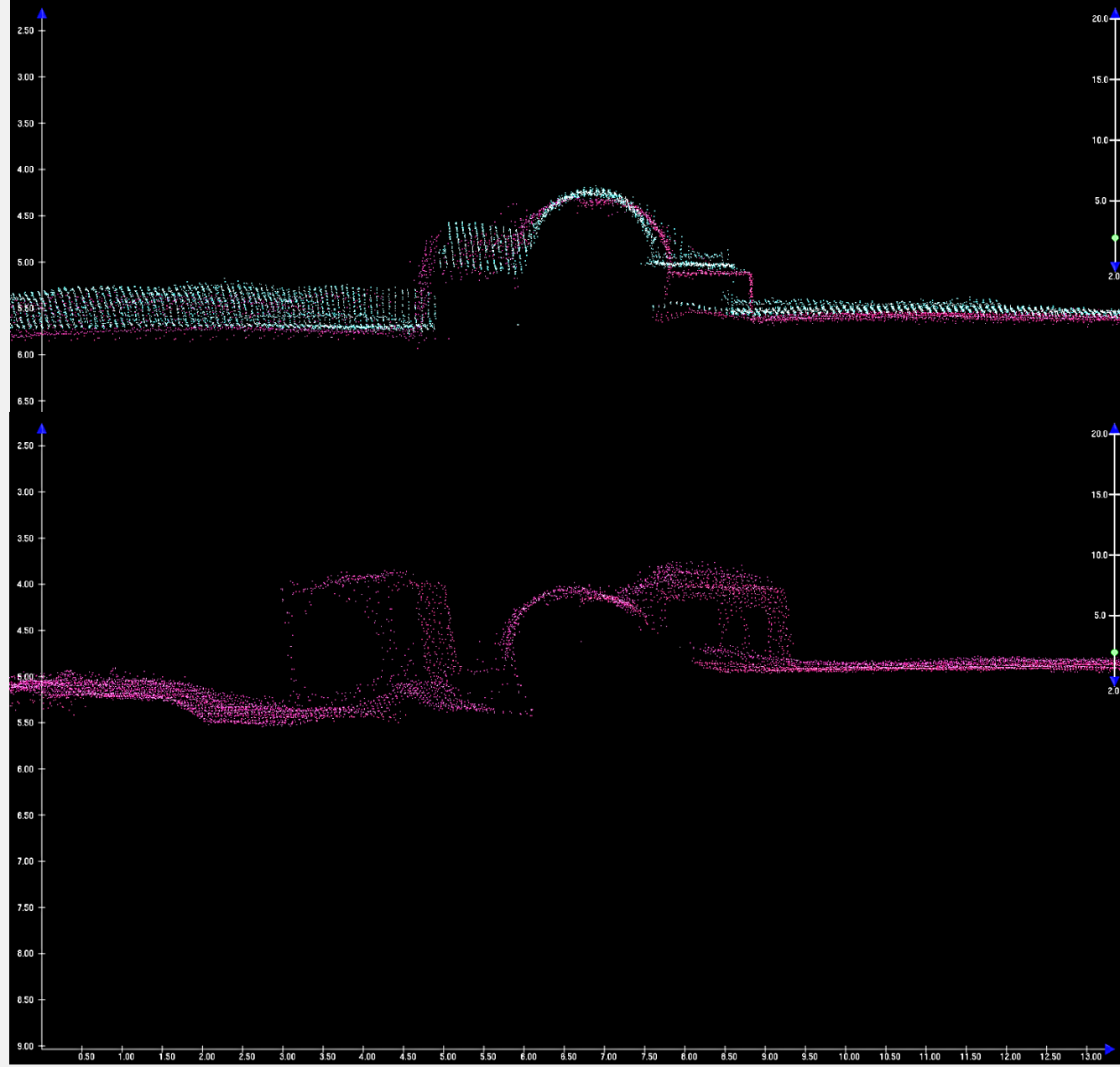
CRITICITÀ STRUTTURALI: TRATTI SOSPESI



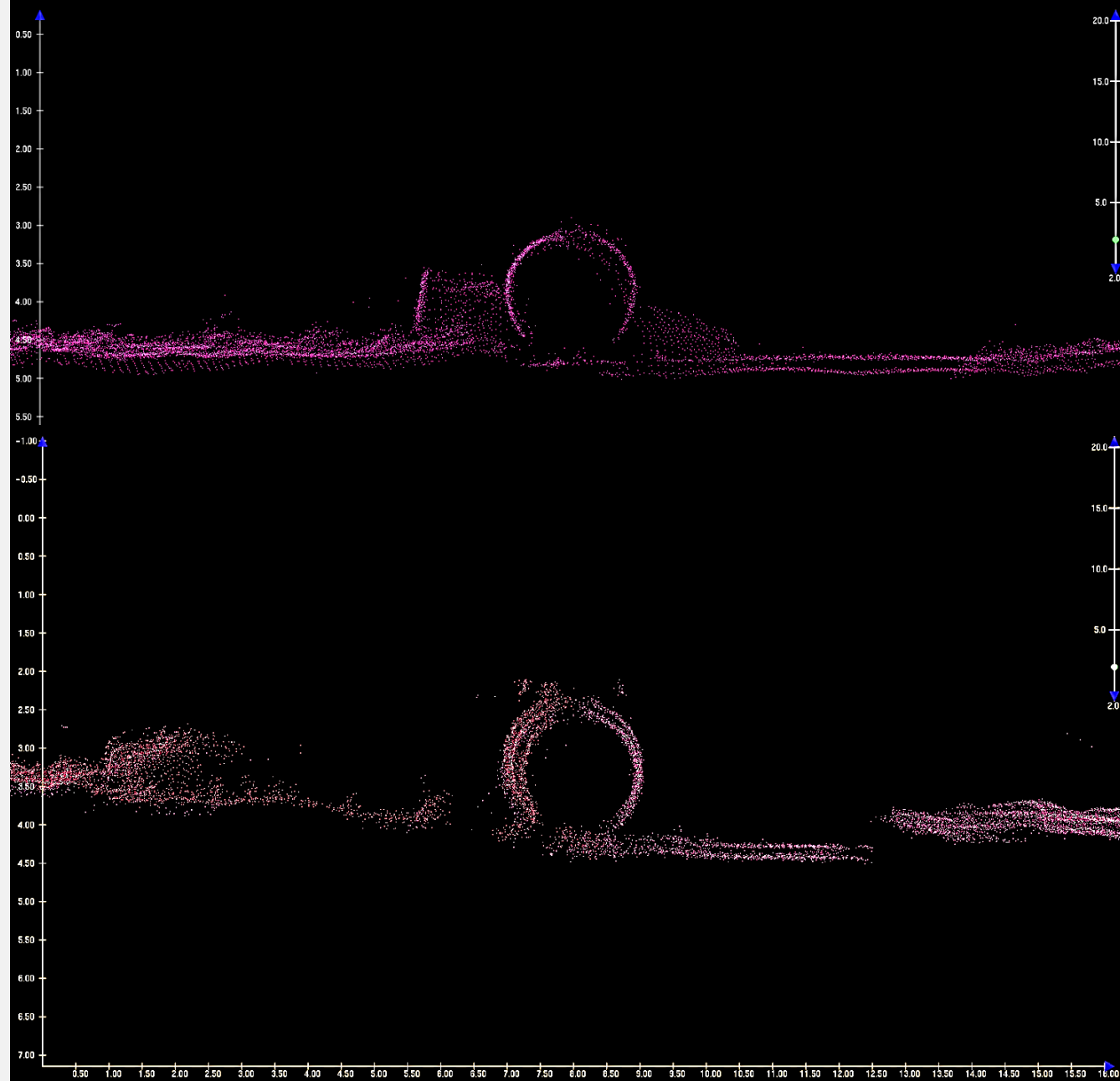
CRITICITÀ STRUTTURALI: TRATTI SOSPESI



CRITICITÀ STRUTTURALI: TRATTI SOSPESI



CRITICITÀ STRUTTURALI: TRATTI SOSPESI



CRITICITÀ STRUTTURALI: TRATTI SOSPESI



Inquadramento
geogr. e geomorf.

Condotta
esistente

Dati
analizzati

**Criticità
strutturali**

Criticità
idrauliche

Criticità
ambientali

Conclusioni

RILIEVO DELLO STATO ATTUALE E DELLE CRITICITÀ
DELLA CONDOTTA SOTTOMARINA DI BARI OVEST



CRITICITÀ STRUTTURALI: TRATTI SOSPESI



Inquadramento
geogr. e geomorf.

Condotta
esistente

Dati
analizzati

**Criticità
strutturali**

Criticità
idrauliche

Criticità
ambientali

Conclusioni

CRITICITÀ IDRAULICHE: DIFFUSORE

Nei video del 2007, prodotto dalla Coastal Consulting & Explorations, come in quello del 2014 (in maniera più evidente) si riscontra il non corretto funzionamento del tratto finale della condotta, il diffusore, che ha il compito di creare le condizioni tali per il trattamento idrodinamico del liquame (diffusione e diluizione iniziale).

Sono stati ripresi e osservati i primi 2-3 fori di diffusione che hanno evidenziato una fuoriuscita del refluo non particolarmente fluida e rapida, ma piuttosto a “sbuffi” intermittenti, molto torbidi.



Diffusore: ripresa video 2014 ad opera del CoNISMa

CRITICITÀ IDRAULICHE: DIFFUSORE

Inquadramento
geogr. e geomorf.

Condotta
esistente

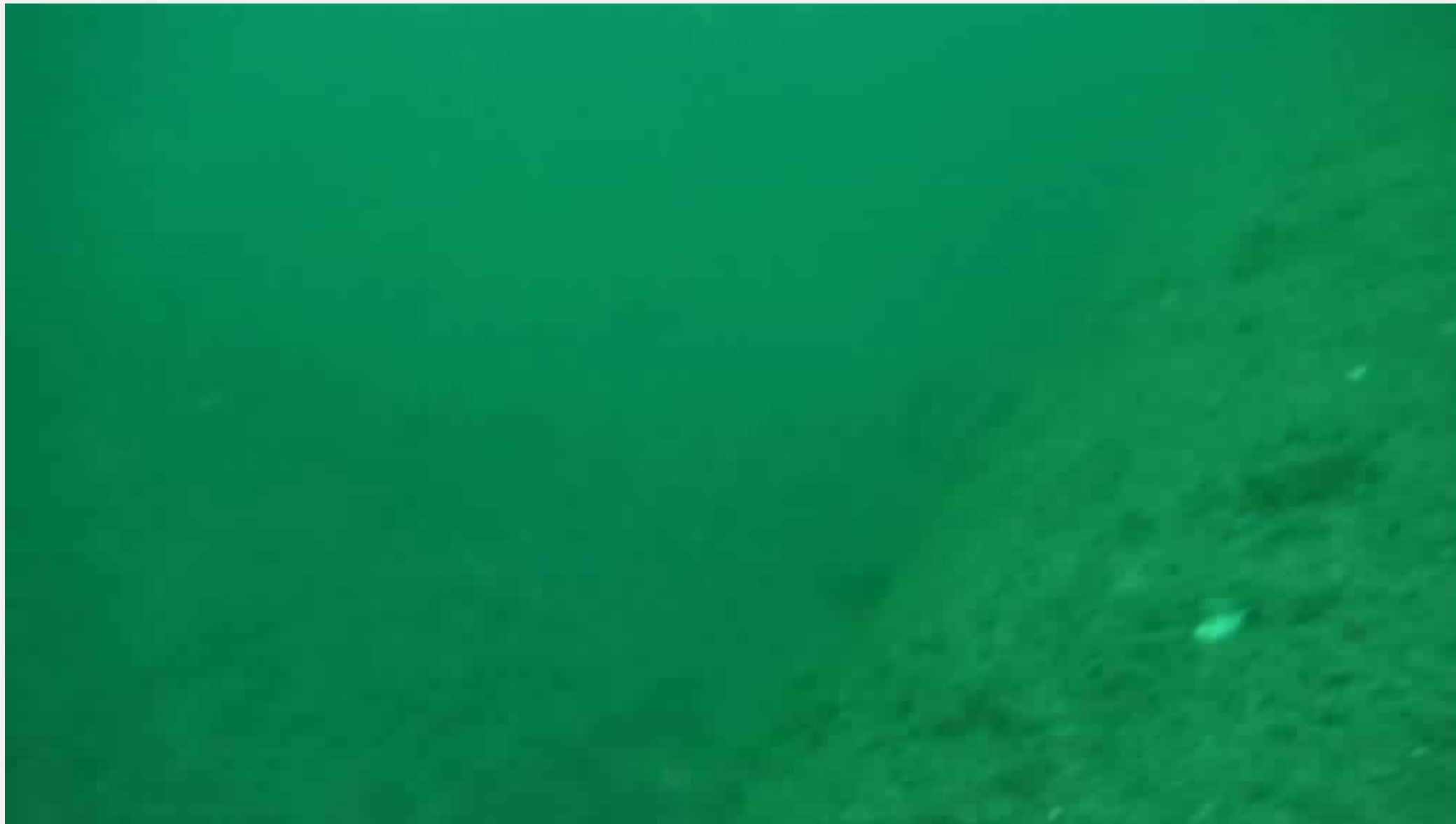
Dati
analizzati

Criticità
strutturali

**Criticità
idrauliche**

Criticità
ambientali

Conclusioni

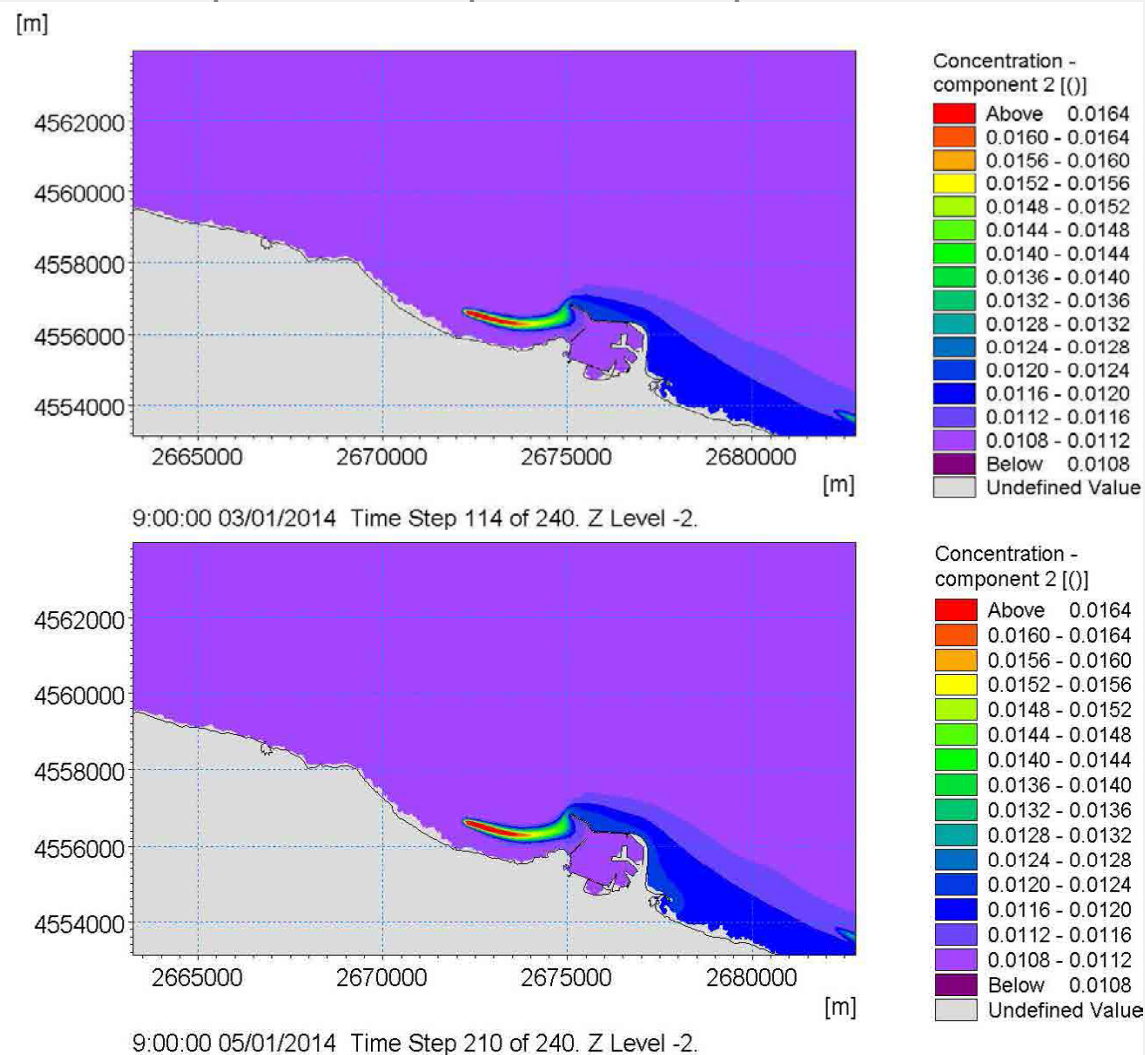


Diffusore: ripresa video 2007 ad opera della Coastal Consulting & Explorations

CRITICITÀ IDRAULICHE: SOVRAPPOSIZIONE PIUME DI DIFFUSIONE

La situazione attuale risulta in linea con quanto atteso: le concentrazioni piuttosto basse del carico inquinante della piuma già nei pressi del punto stesso di scarico la fanno, quindi, ritenere non eccessivamente critica. Tuttavia si rileva come, in alcune condizioni meteomarine particolari, concentrazioni molto basse dei traccianti che caratterizzano il refluo depurato possano interessare lo specchio d'acqua interno al porto.

Inoltre si osserva come, nel caso di condizioni rappresentative di un periodo tipicamente invernale, la piuma generata dallo scarico di Bari Ovest e proveniente da nord ovest vada ad interessare con concentrazioni molto basse l'area di diffusione della piuma prodotta dallo scarico di Bari Est. Viceversa nel caso di condizioni rappresentative di un periodo tipicamente estivo, la piuma generata dallo scarico di Bari Est e proveniente da sud est possa raggiungere con concentrazioni molto basse l'area di diffusione della piuma prodotta dallo scarico di Bari Ovest.



CRITICITÀ AMBIENTALI: POSIDONIETO DI SAN VITO

Dall'analisi del P.P.T.R, essendo un'opera in mare, l'unica interferenza rilevata (aree protette e siti naturalistici) è nei confronti del sito di importanza comunitaria del *"Posidonieta San Vito – Barletta"*.



Mappatura del Posidonieta aggiornata al monitoraggio del 2004



Localizzazione delle stazioni previste dai monitoraggi nel posidonieta a Ovest di Bari realizzati nei periodi 2007-2009 e 2013-2014 (da: *Autorità Portuale Bari*)

CRITICITÀ AMBIENTALI: POSIDONIETO DI SAN VITO

Si riportano di seguito alcune foto subacquee significative per apprezzare l'evoluzione negativa nel tempo dei suddetti fenomeni di degrado e regressione del posidonieto.

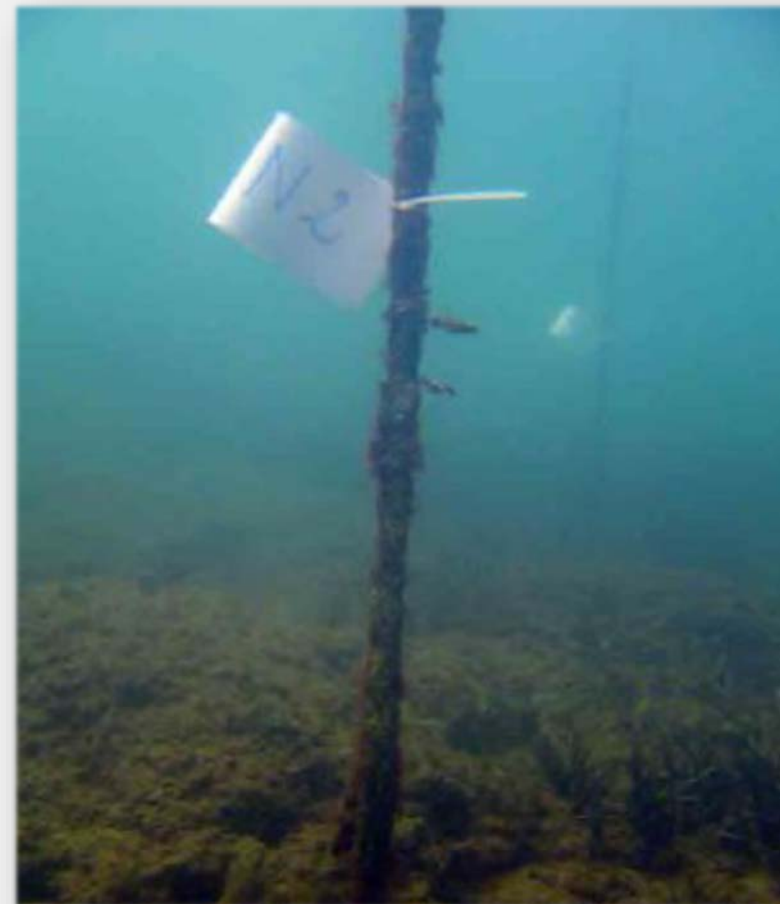


Foto subacquee relative alla stazione ST1 monitorata mediante la tecnica delle immagini ripetute nel tempo del paletto n.2

CRITICITÀ AMBIENTALI: POSIDONIETO DI SAN VITO

Si riportano di seguito alcune foto subacquee significative per apprezzare l'evoluzione negativa nel tempo dei suddetti fenomeni di degrado e regressione del posidonieto.

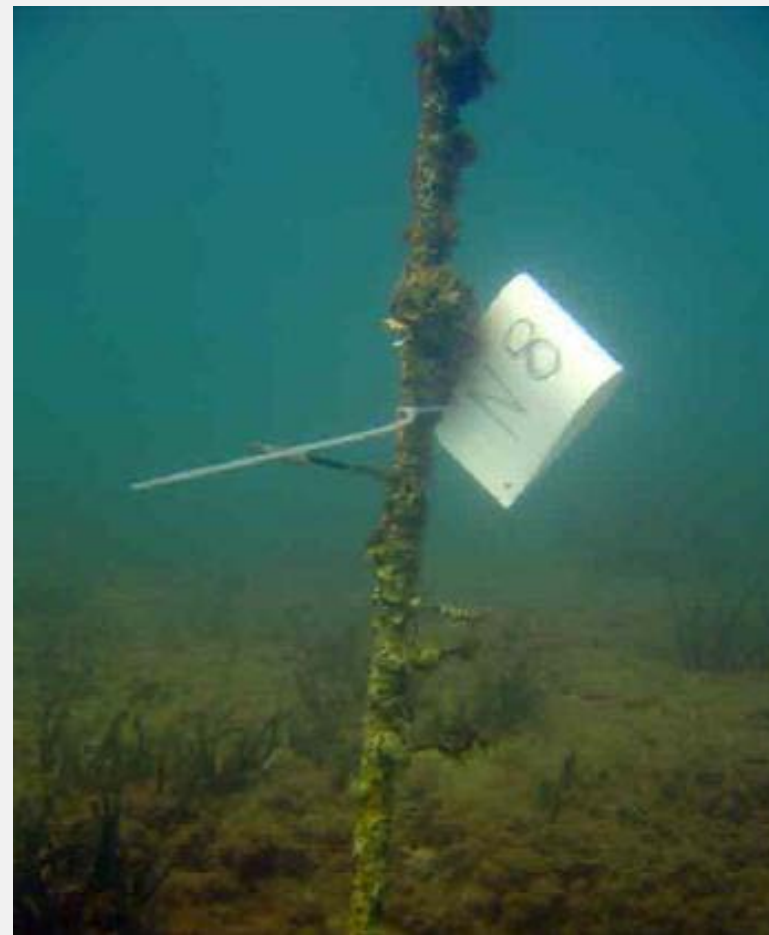


Foto subacquee relative alla stazione ST1 monitorata mediante la tecnica delle immagini ripetute nel tempo del paletto n.8

CRITICITÀ AMBIENTALI: POSIDONIETO DI SAN VITO

Inquadramento
geogr. e geomorf.

Condotta
esistente

Dati
analizzati

Criticità
strutturali

Criticità
idrauliche

**Criticità
ambientali**

Conclusioni



Stato del Posidonieto di San Vito: ripresa video 2007 ad opera della Coastal Consulting & Explorations

RILIEVO DELLO STATO ATTUALE E DELLE CRITICITÀ
DELLA CONDOTTA SOTTOMARINA DI BARI OVEST



CRITICITÀ IDRAULICHE: QUALITÀ DELLE ACQUE

Dalle riprese video effettuate nel 2007 e nel 2014 si riscontra una qualità delle acque non conforme agli standard di normativa. Se pur la carica batterica risulti rispettosa dei limiti imposti dalla legge, la quantità di particolato fine generato dallo scarico è estremamente abbondante sui fondali in prossimità del diffusore per un intorno di circa 500 m nel settore a Est (settore sottocorrente dominante) e di circa 150 m nel settore a Ovest (settore sopracorrente). Ciò contribuisce ad aumentare in maniera eccessiva la torbidità delle acque nell'area circostante il tratto terminale dello scarico.



CONCLUSIONI

Inquadramento geogr. e geomorf.	Condotta esistente	Dati analizzati	Criticità strutturali	Criticità idrauliche	Criticità ambientali	Conclusioni
------------------------------------	-----------------------	--------------------	--------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------



OIBA
ORDINE DEGLI INGEGNERI
della Provincia di Bari



AQP
WATER ACADEMY
QUALITY ASSURANCE

Corso di formazione:
**«Materiali per la costruzione di condotte di scarico
sottomarine»**

Analisi di stabilità delle condotte sottomarine

**Criteri di verifica di stabilità delle
condotte interrato**

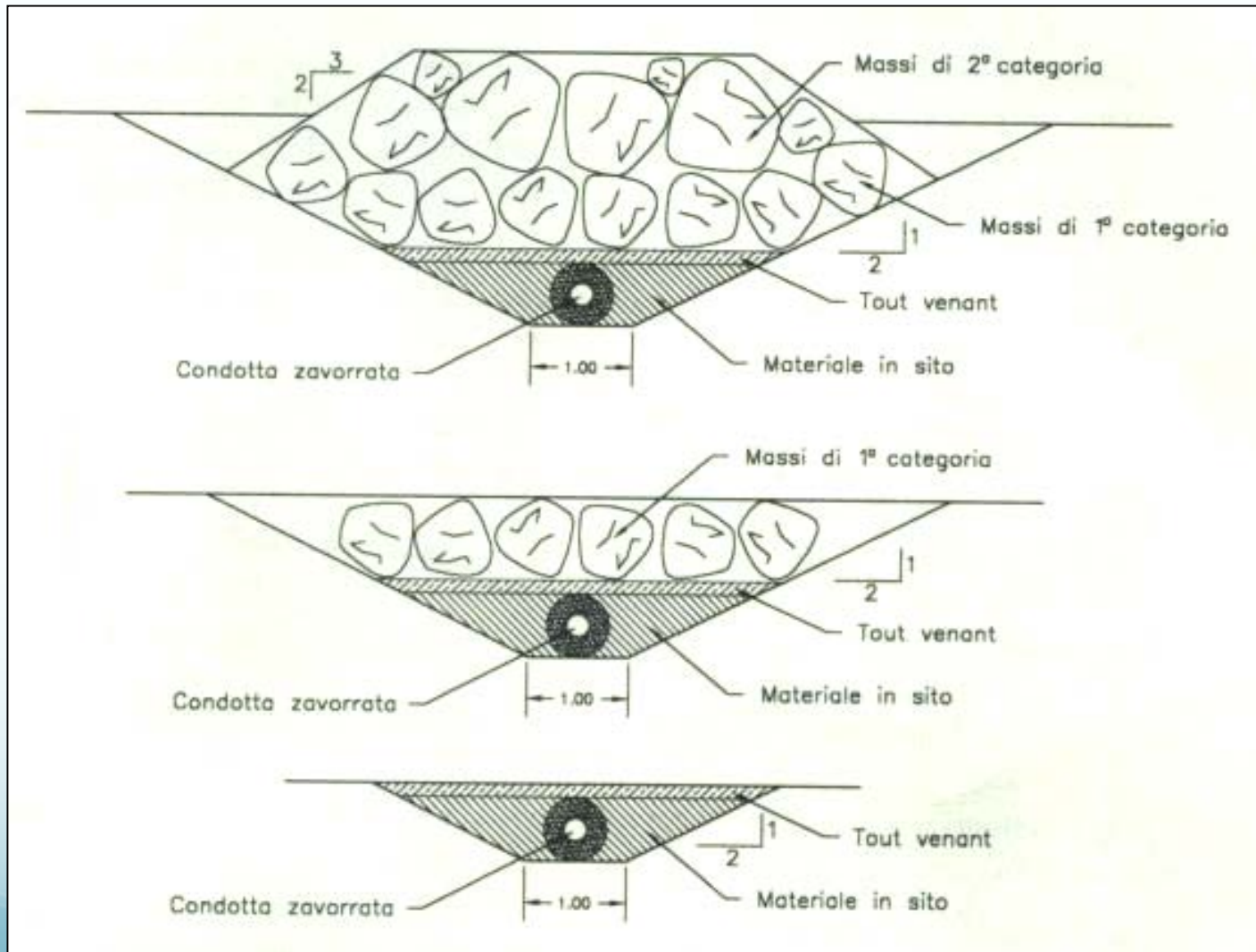
**Criteri di verifica di stabilità delle
condotte posate sui fondali**

**Elementi utili per la determinazione
delle forzanti meteomarine**

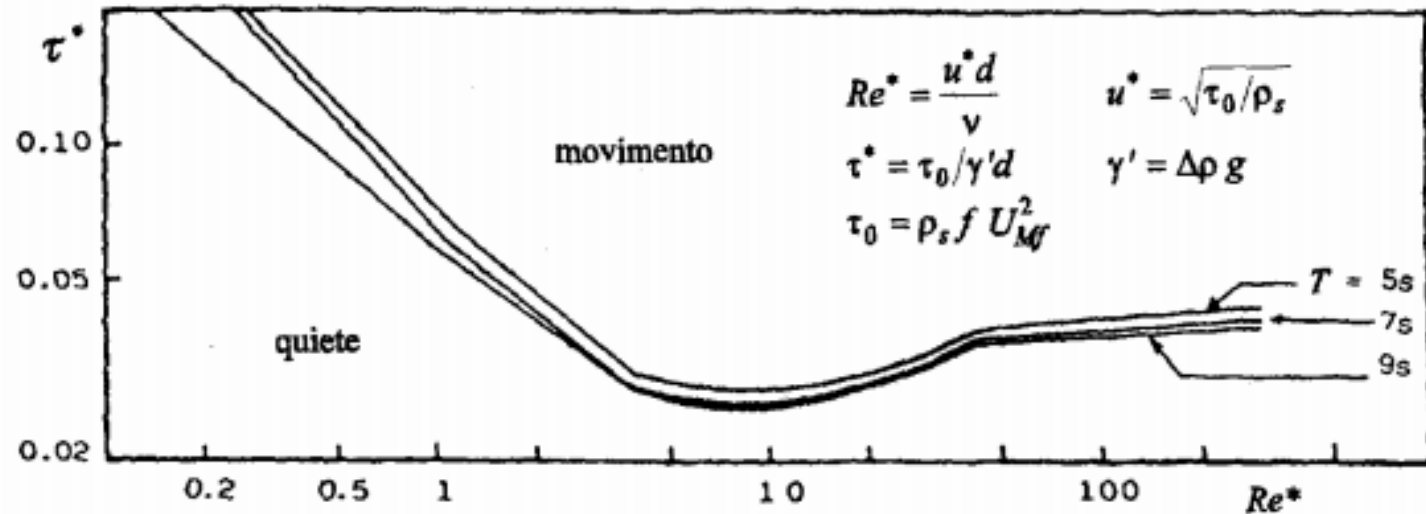
Studio della stabilità delle condotte interrate



Studio della stabilità delle condotte interrate



Studio della stabilità delle condotte interrate



Abaco di Brunone, 1986

$$Re^* = \frac{u^* d}{\nu} = \frac{\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho_s}} d}{\nu} = \frac{\sqrt{\frac{\rho_s f u_{mf}^2}{\rho_s}} d}{\nu}$$

$$\tau^* = \frac{\tau^0}{\gamma' d}$$

τ_0 sforzo tangenziale al fondo $\rho_s f u_{mf}^2$

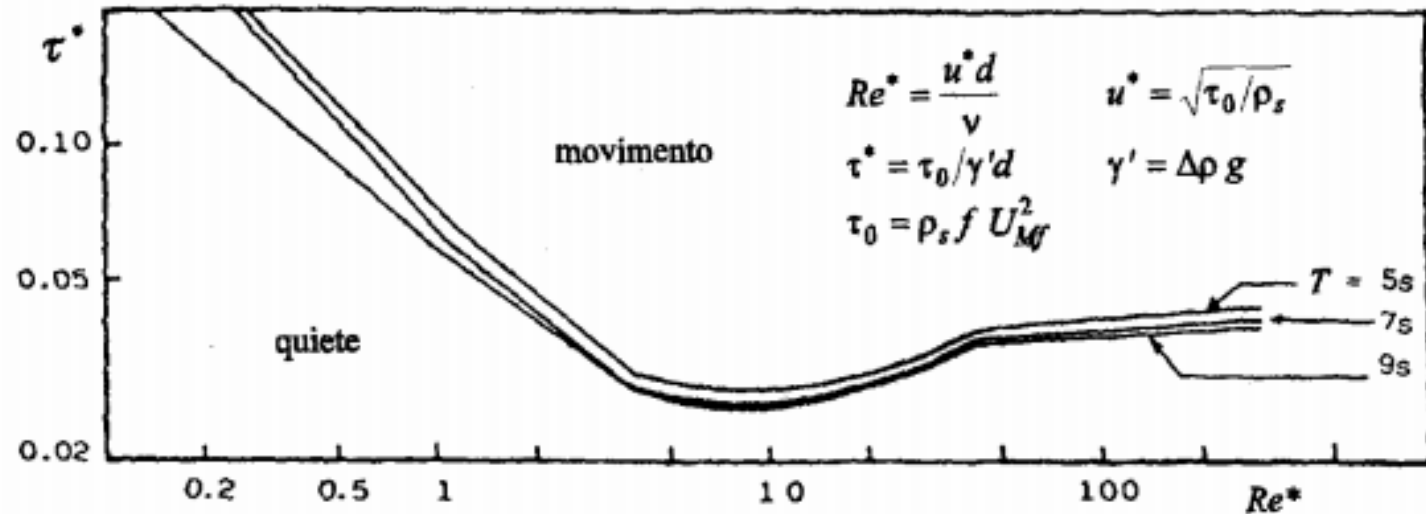
ρ_s densità della sabbia

f coeff. di attrito al fondo della sabbia

U_{mf} velocità massima al fondo indotta dall'onda di progetto

d diametro medio dei sedimenti dal fondale

Studio della stabilità delle condotte interrate



Abaco di Brunone, 1986

$$Re^* = \frac{u^* d}{\nu} = \frac{\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho_s}} d}{\nu} = \frac{\sqrt{\frac{\rho_s f u_{mf}^2}{\rho_s}} d}{\nu}$$

$$\tau^* = \frac{\tau^0}{\gamma' d}$$

τ_0 sforzo tangenziale al fondo $\rho_s f u_{mf}^2$

ρ_s densità della sabbia

f coeff. di attrito al fondo della sabbia

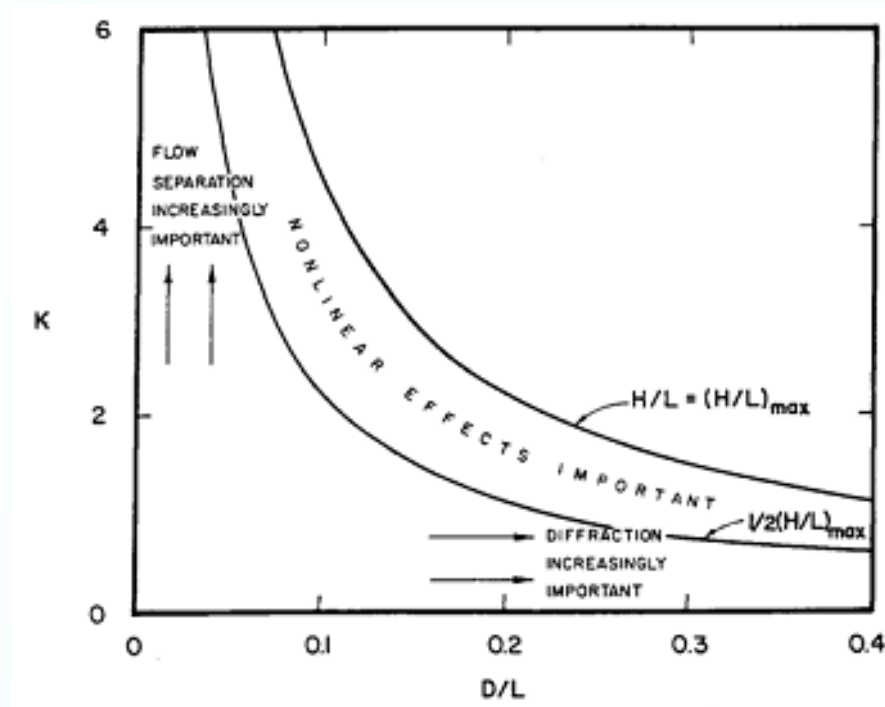
U_{mf} velocità massima al fondo indotta dall'onda di progetto

d diametro medio dei sedimenti dal fondale

Studio della stabilità delle condotte posate sul fondale



Caratterizzazione delle forze derivanti da moto ondoso su corpo cilindrico immerso in acqua

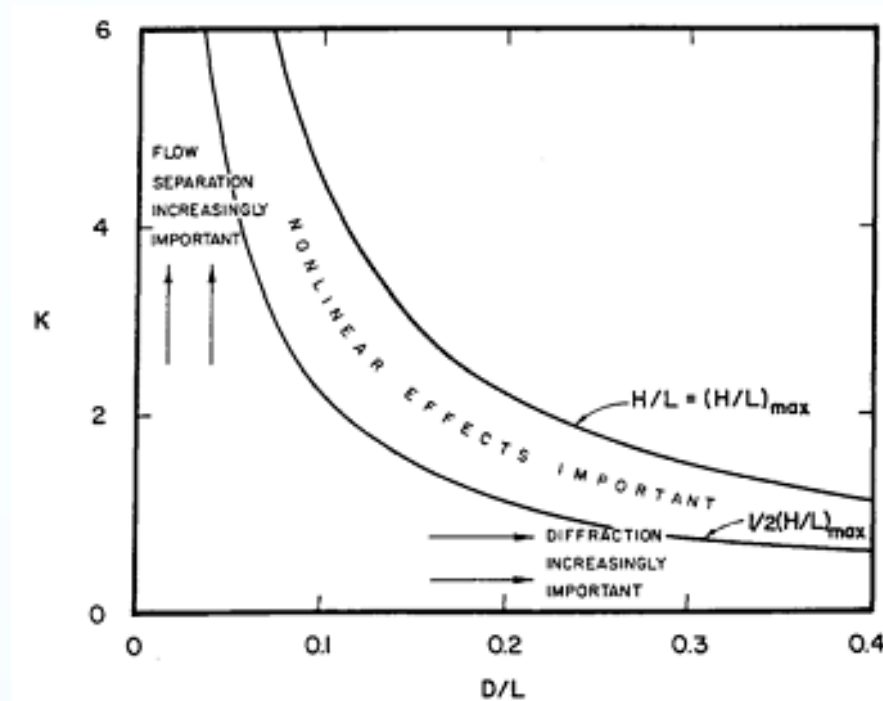


Sarpkaya e Isaakson, 1981

- D/L è il parametro di *diffrazione* (D diam. Condotta; L lunghezza d'onda)
- K è il numero di *Keulegan-Carpenter* $= \frac{u_m \cdot T}{D}$

U_m è il valore massimo della componente orizzontale della velocità valutato in corrispondenza dell'asse trasversale della condotta

Caratterizzazione delle forze derivanti da moto ondoso su corpo cilindrico immerso in acqua

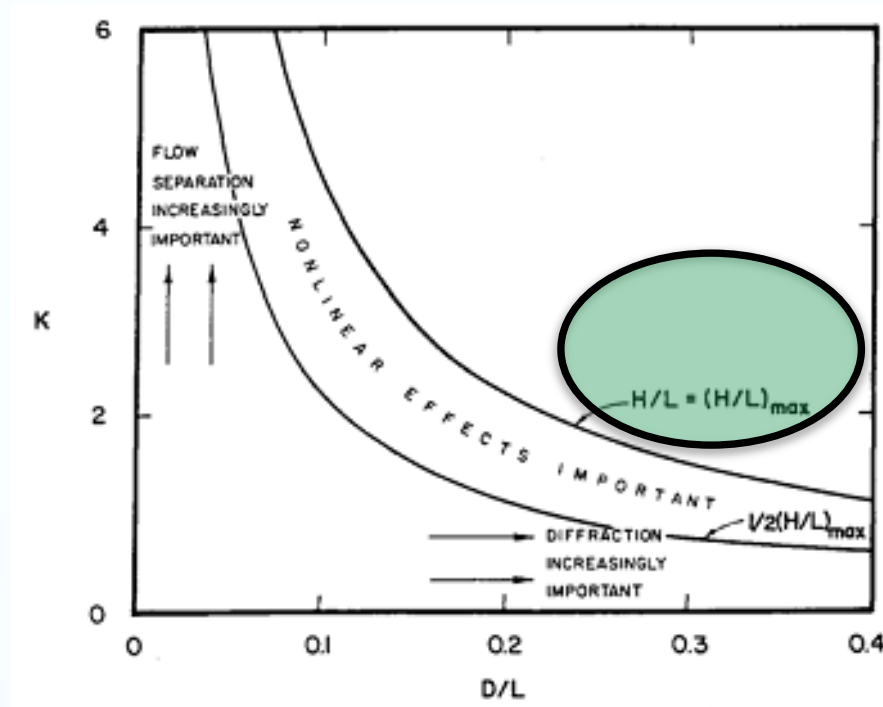


Sarpkaya e Isaakson, 1981

- D/L è il parametro di *diffrazione* (D diam. Condotta; L lunghezza d'onda)
- K è il numero di *Keulegan-Carpenter* = $\frac{u_m T}{D}$ T è il periodo dell'onda

U_m è il valore massimo della componente orizzontale della velocità valutato in corrispondenza dell'asse trasversale della condotta

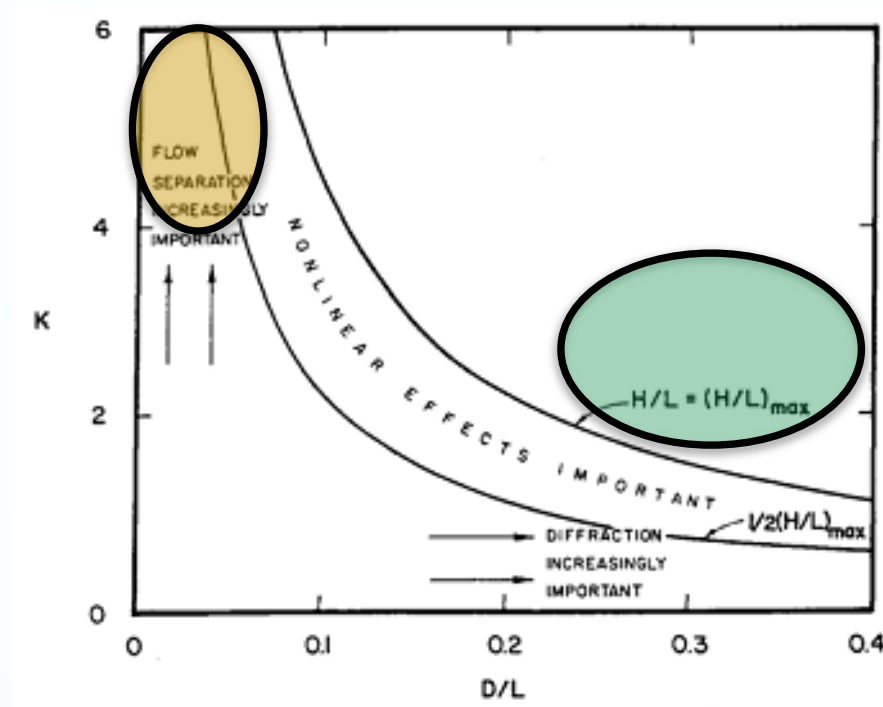
Caratterizzazione delle forze derivanti da moto ondoso su corpo cilindrico immerso in acqua



Le forze d'onda si calcolano a partire dalla teoria del moto a potenziale e irrotazionale o sulla scorta di studi sperimentali

Sarpkaya e Isaakson, 1981

Caratterizzazione delle forze derivanti da moto ondoso su corpo cilindrico immerso in acqua

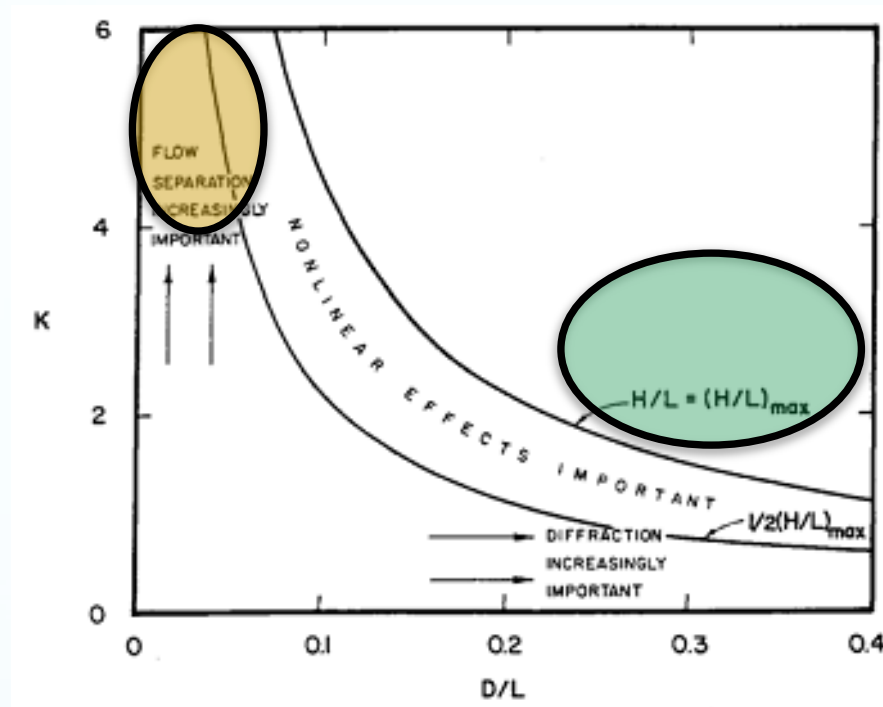


Sarpkaya e Isaakson, 1981

Le forze d'onda si calcolano a partire dalla teoria del moto a potenziale e irrotazionale o sulla scorta di studi sperimentali

Il campo di moto è dissipativo. Si formano scie vorticose e bisogna tener conto, oltre che delle forze inerziali, delle forze di resistenza al moto e delle forze di sollevamento

Caratterizzazione delle forze derivanti da moto ondoso su corpo cilindrico immerso in acqua



Sarpkaya e Isaakson, 1981

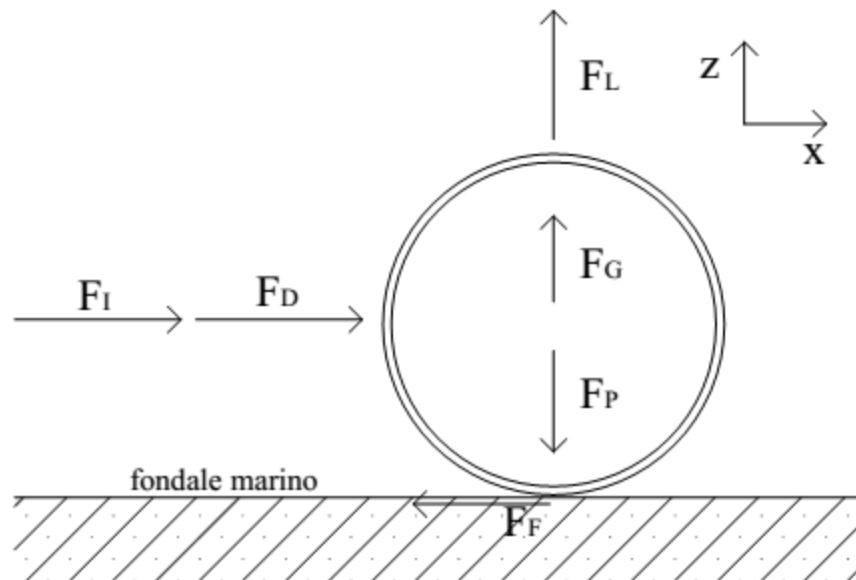
Le forze d'onda si calcolano a partire dalla teoria del moto a potenziale e irrotazionale o sulla scorta di studi sperimentali

Il campo di moto è dissipativo. Si formano scie vorticose e bisogna tener conto, oltre che delle forze inerziali, delle forze di resistenza al moto e delle forze di sollevamento



È il caso di interesse per lo studio delle condotte sottomarine

Studio della stabilità delle condotte posate sul fondale



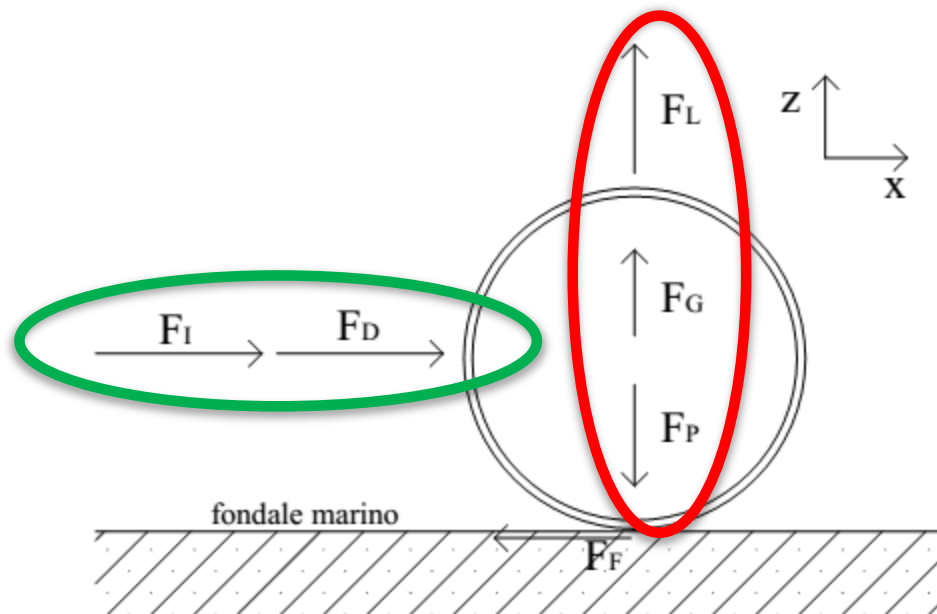
Forze stabilizzanti

- F_P *forza peso*
- ↓
- F_F *forza d'attrito*

Forze instabilizzanti

- F_G *spinta di galleggiamento*
 - F_D *forza di drag*
 - F_I *forza di inerzia*
 - F_L *forza di lift*
- } di tipo idrodinamico

Studio della stabilità delle condotte posate sul fondale



Verifica dell'equilibrio:

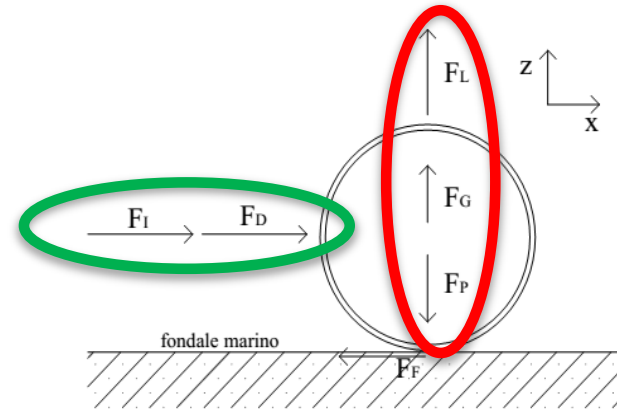
$$\mu \mathbf{F_V} > \mathbf{F_O}$$

Dove:

F_O (risultante forze orizzontali)	$= F_D + F_I$
F_V (risultante forze verticali)	$= F_P - F_G - F_L$
μ (coefficiente di attrito laterale)	$= \text{tg}20^\circ = 0.36$ (nel caso di fondali prevalentemente in sabbia)

II Modello di Morrison

È un modello diffuso per la determinazione delle forze idrodinamiche indotte da un campo di moto di tipo oscillatorio su una struttura cilindrica snella in mare



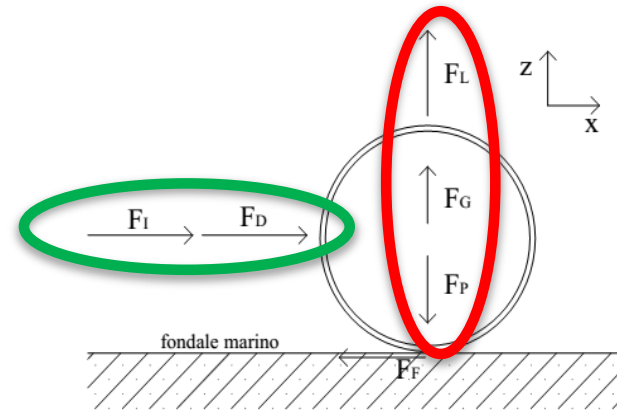
Forza di *Drag* :

$$F_D(t) = \frac{1}{2} \rho D C_D u(t) |u(t)|$$

ρ	Densità dell'acqua salata
D	Diametro condotta
$u(t)$	Componente orizzontale della velocità indisturbata indotta dal moto ondoso
C_D	coefficiente idrodinamico di drag

II Modello di Morrison

È un modello diffuso per la determinazione delle forze idrodinamiche indotte da un campo di moto di tipo oscillatorio su una struttura cilindrica snella in mare



Forza di *Drag* :

$$F_D(t) = \frac{1}{2} \rho D C_D u(t) |u(t)|$$

ρ

Densità dell'acqua salata

D

Diametro condotta

$u(t)$

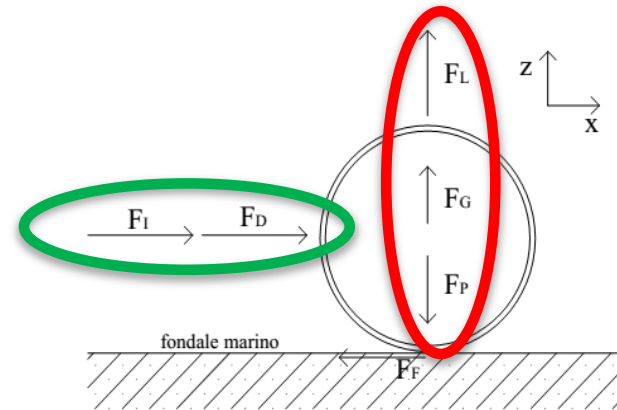
Componente orizzontale della velocità indisturbata indotta dal moto ondoso

C_D

coefficiente idrodinamico di drag

II Modello di Morrison

È un modello diffuso per la determinazione delle forze idrodinamiche indotte da un campo di moto di tipo oscillatorio su una struttura cilindrica snella in mare



Forza di *inerzia*:
$$F_I(t) = \frac{1}{4} \pi D^2 \rho C_M a(t)$$

ρ Densità dell'acqua salata

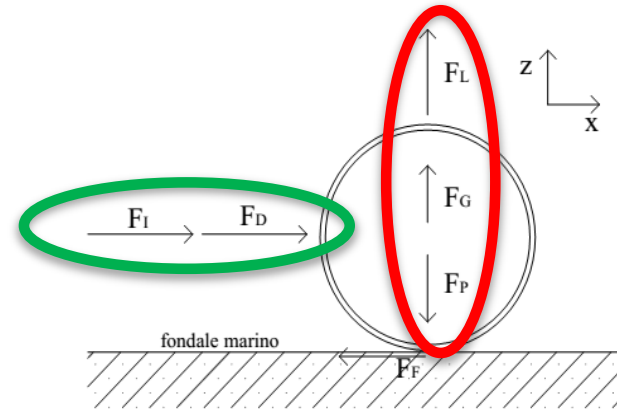
D Diametro condotta

$a(t)$ Componente orizzontale della accelerazione indisturbata indotta dal moto ondoso

C_M coefficiente idrodinamico di inerzia

II Modello di Morrison

È un modello diffuso per la determinazione delle forze idrodinamiche indotte da un campo di moto di tipo oscillatorio su una struttura cilindrica snella in mare



Forza di *inerzia*:
$$F_I(t) = \frac{1}{4} \pi D^2 \rho C_M a(t)$$

ρ

Densità dell'acqua salata

D

Diametro condotta

$a(t)$

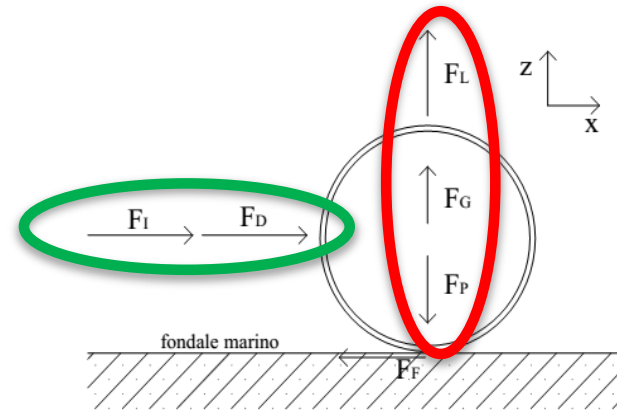
Componente orizzontale della accelerazione indisturbata indotta dal moto ondoso

C_M

coefficiente idrodinamico di inerzia

II Modello di Morrison

È un modello diffuso per la determinazione delle forze idrodinamiche indotte da un campo di moto di tipo oscillatorio su una struttura cilindrica snella in mare



Forza di *lift*:

$$F_L(t) = \frac{1}{2} \rho D C_L u^2(t)$$

ρ Densità dell'acqua salata

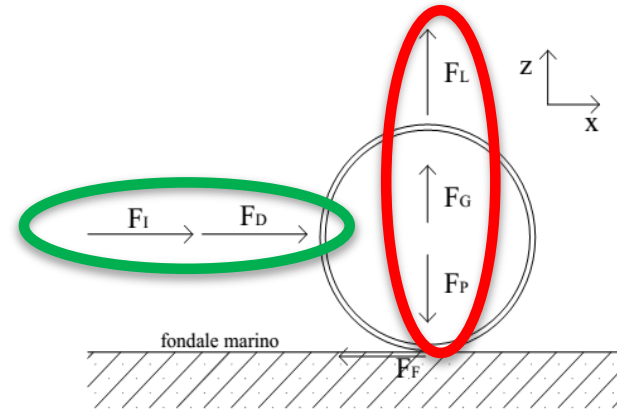
D Diametro condotta

$u(t)$ Componente orizzontale della velocità indisturbata indotta dal moto ondoso

C_L coefficiente idrodinamico di lift

II Modello di Morrison

È un modello diffuso per la determinazione delle forze idrodinamiche indotte da un campo di moto di tipo oscillatorio su una struttura cilindrica snella in mare



Forza di *lift*:

$$F_L(t) = \frac{1}{2} \rho D C_L u^2(t)$$

ρ

Densità dell'acqua salata

D

Diametro condotta

$u(t)$

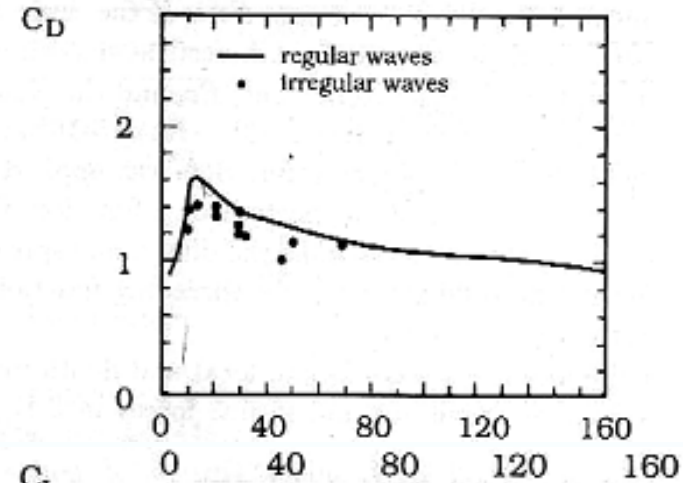
Componente orizzontale della velocità indisturbata indotta dal moto ondoso

C_M

coefficiente idrodinamico di lift

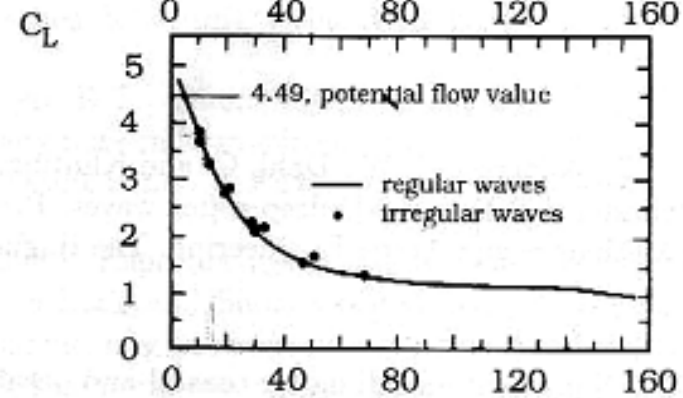
Abachi di Bryndum

Coefficiente di drag



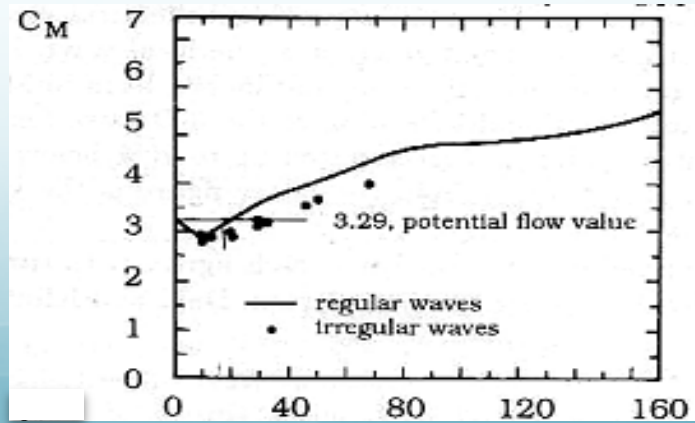
KC

Coefficiente di lift



KC

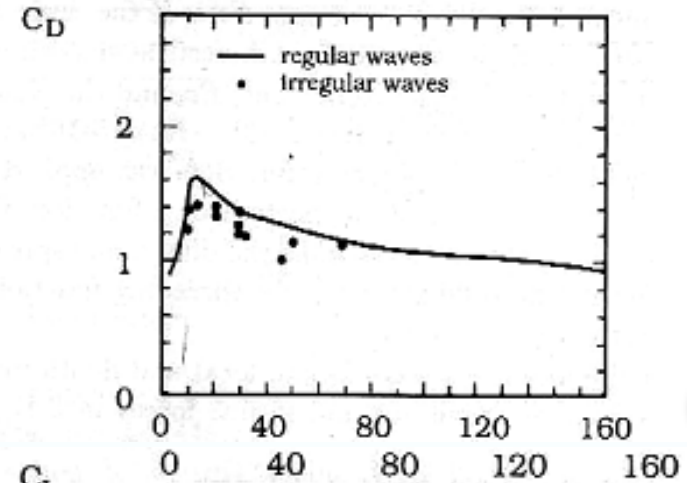
Coefficiente di inerzia



KC

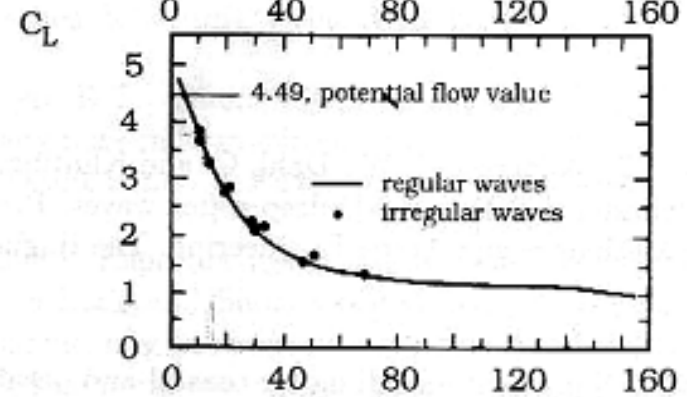
Abachi di Bryndum

Coefficiente di drag



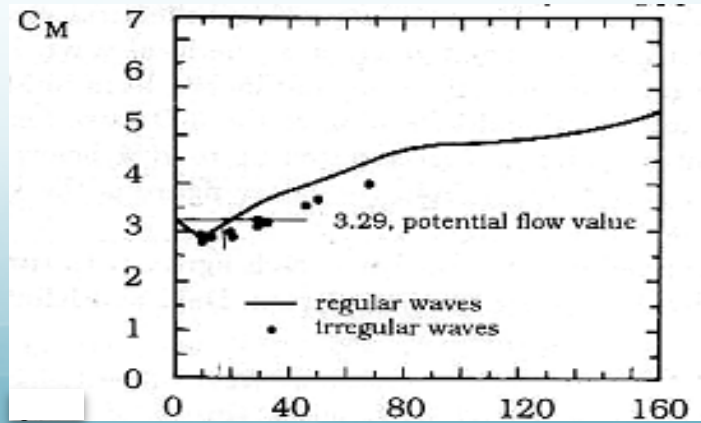
KC

Coefficiente di lift



KC

Coefficiente di inerzia



KC

**ELEMENTI UTILI
PER LA DETERMINAZIONE
DELLE FORZANTI METEOMARINE**





Ricostruzione del clima meteomarinico al largo

METODI INDIRECTI (dati di vento)



METODI DIRETTI (dati di boa)

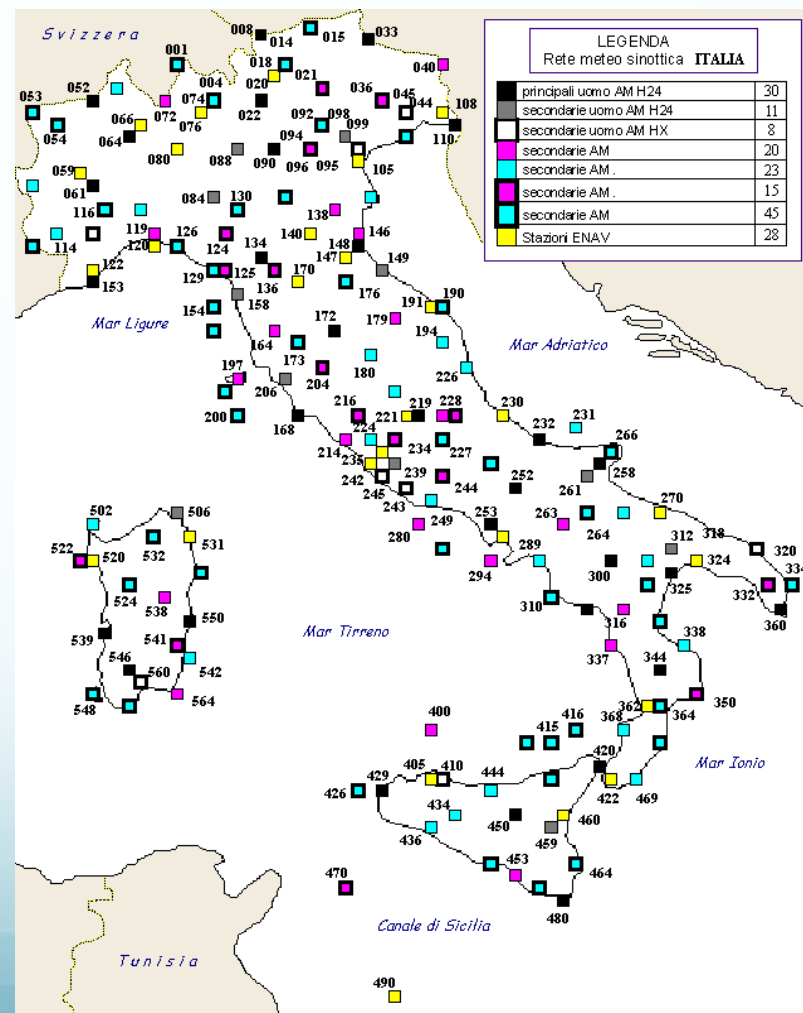


Reti anemometriche in Italia

R.M.N. – Rete Mareografica Nazionale (mareografi ed anemometri)



Rete Meteo sinottica italiana (Aeronautica Militare)



Stazione Anemometrica

Dati rilevati:

- Direzione e velocità del vento
- Temperatura
- Pluviometria
- Pressione atmosferica, ecc...



RON

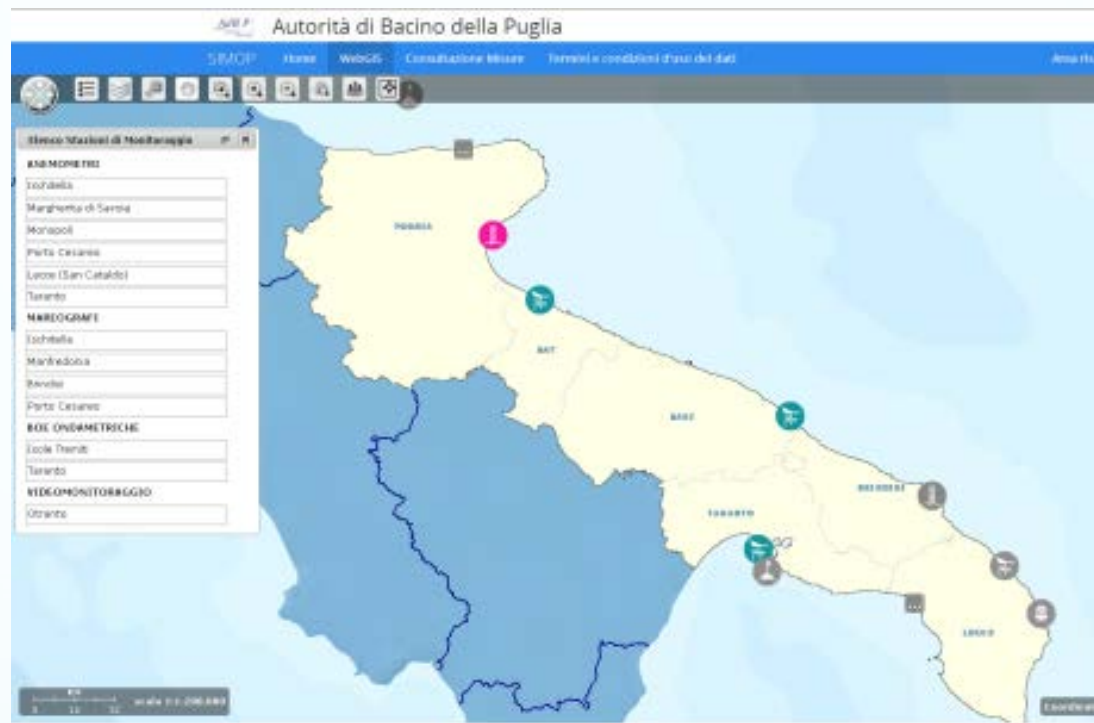
Rete Ondametrica Nazionale



I.S.P.R.A

(Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)

La Rete di Monitoraggio Meteo-oceanografica della Regione Puglia



Dal 2011 la rete è gestita dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia.

**NUOVO PORTALE AdBP
Sistema Informativo Meteo Oceanografico delle coste
Pugliesi (SIMOP)**

La Rete di Monitoraggio Meteo-oceanografica della Regione Puglia

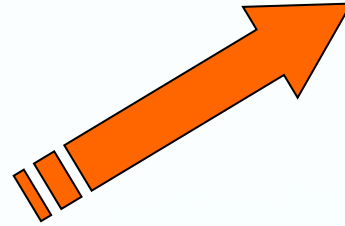
6 Anemometri



3 Boe



Centro di Controllo

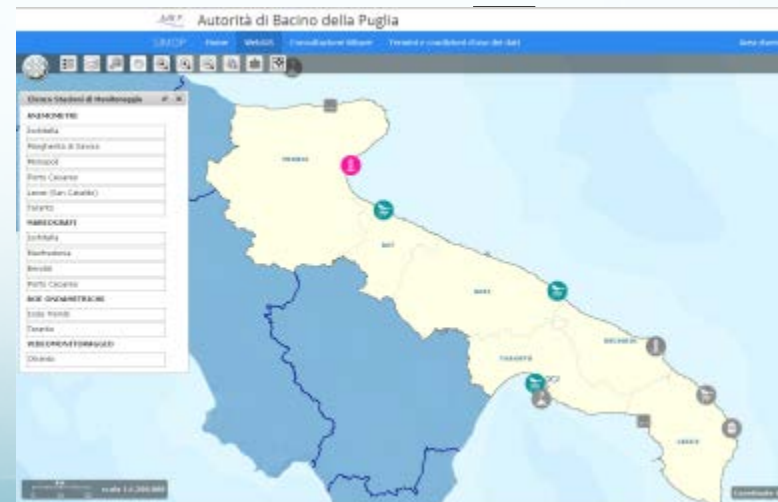


Database

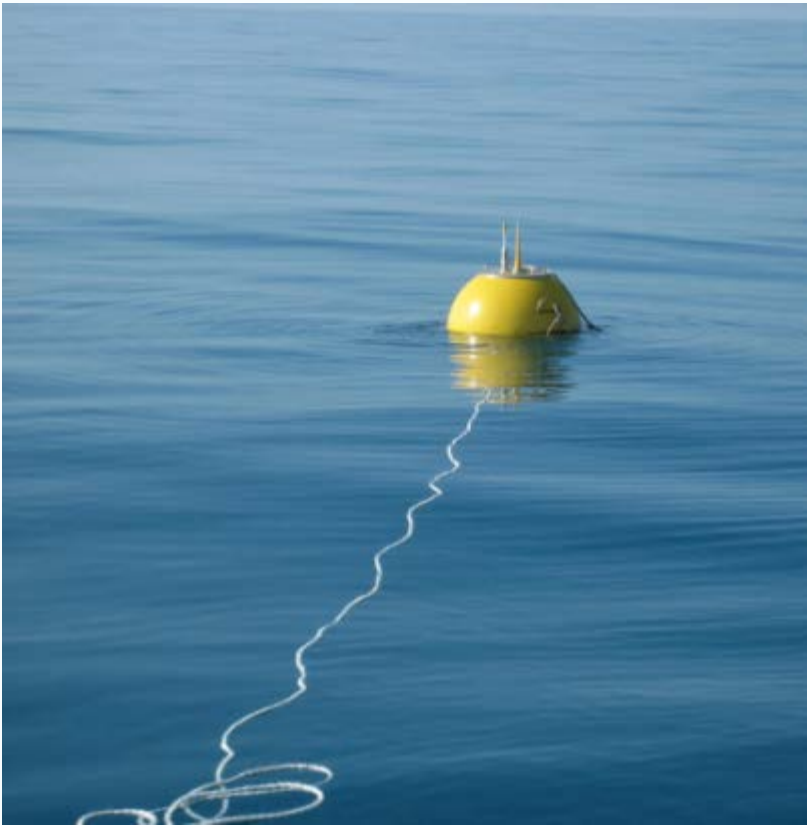


Tutti i dati rilevati convergono in un database e dopo un controllo automatico sulla qualità della misura sono pubblicati in tempo reale su un webportal dedicato alla pubblicazione di dati meteomarini, attualmente accessibile dal sito dell'AdB Puglia.

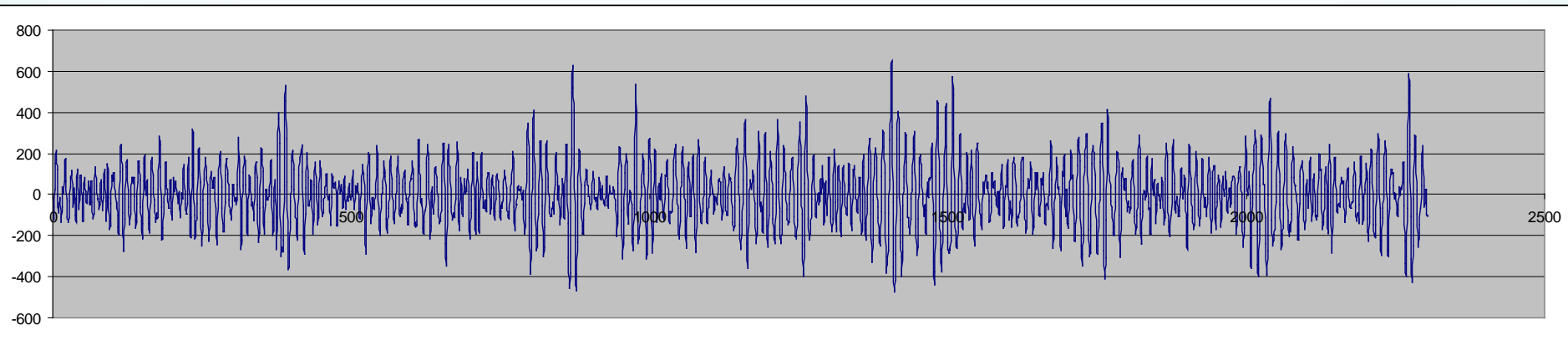
4 Mareografi



Portale WEB



**I dati di
elevazione della
superficie del
mare vengono
misurati
attraverso
accelerometri e
trasmessi via
rete cellulare o
via radio.**



Dati Ondametrici

La boa fornisce dati SEMIORARI di altezza d'onda, di periodo, direzione di propagazione e temperatura.

anno	mese	giorno	ora	Hs(m)	Tp(s)	Tm(s)	Dir(°N)	Tmp(°C)
2006	10	18	15	0.26	5.1	2.9	103.7	20.9
2006	10	18	15.3	0.27	6.7	2.9	109.6	20.9
2006	10	18	16	0.29	5.6	3.2	99.5	20.8
2006	10	18	16.3	0.29	6.1	3.1	101.6	20.8
2006	10	18	17	0.31	6.1	3.1	105.4	20.8
2006	10	18	17.3	0.32	6.3	3.3	102.4	20.9
2006	10	18	18	0.32	6.5	3.1	104.9	20.8
2006	10	18	18.3	0.32	6.3	3.2	106.2	20.8
2006	10	18	19	0.32	6.3	3.3	106.5	20.8
2006	10	18	19.3	0.31	6.25	4.61	106.17	20.8
2006	10	18	20	0.33	6.1	3	114.9	20.8
2006	10	18	20.3	0.31	6.1	3.1	115.4	20.8
2006	10	18	21	0.35	5.9	3.1	116.1	20.8
2006	10	18	21.3	0.34	6.3	3.5	105.3	20.8
2006	10	18	22	0.32	6.25	4.7	102.84	20.8
2006	10	18	22.3	0.35	6.1	3.3	109	20.8
2006	10	18	23	0.35	5.7	3.4	111.7	20.8
2006	10	18	23.3	0.31	5.9	3	115.3	20.8
2006	10	18	24	0.3	5.88	4.27	107.1	20.8

Dati Ondametrici

La boa fornisce dati SEMIORARI di altezza d'onda, di periodo, direzioni di propagazione e temperatura.

anno	mese	giorno	ora	Hs(m)	Tp(s)	Tm(s)	Dir(°N)	Tmp(°C)
2006	10	18	15	0.26	5.1	2.9	103.7	20.9
2006	10	18	15.3	0.27	6.7	2.9	109.6	20.9
2006	10	18	16	0.29	5.6	3.2	99.5	20.8
2006	10	18	16.3	0.29	6.1	3.1	101.6	20.8
2006	10	18	17	0.31	6.1	3.1	105.4	20.8
2006	10	18	17.3	0.32	6.3	3.3	102.4	20.9
2006	10							20.8
2006	10							20.8
2006	10							20.8
2006	10							20.8
2006	10							20.8
2006	10	18	20.3	0.31	6.1	3.1	115.4	20.8
2006	10	18	21	0.35	5.9	3.1	116.1	20.8
2006	10	18	21.3	0.34	6.3	3.5	105.3	20.8
2006	10	18	22	0.32	6.25	4.7	102.84	20.8
2006	10	18	22.3	0.35	6.1	3.3	109	20.8
2006	10	18	23	0.35	5.7	3.4	111.7	20.8
2006	10	18	23.3	0.31	5.9	3	115.3	20.8
2006	10	18	24	0.3	5.88	4.27	107.1	20.8

L'**altezza significativa** (H_s) è la media del terzo superiore delle altezze d'onda presenti nella registrazione

Clima Meteomarinario Medio

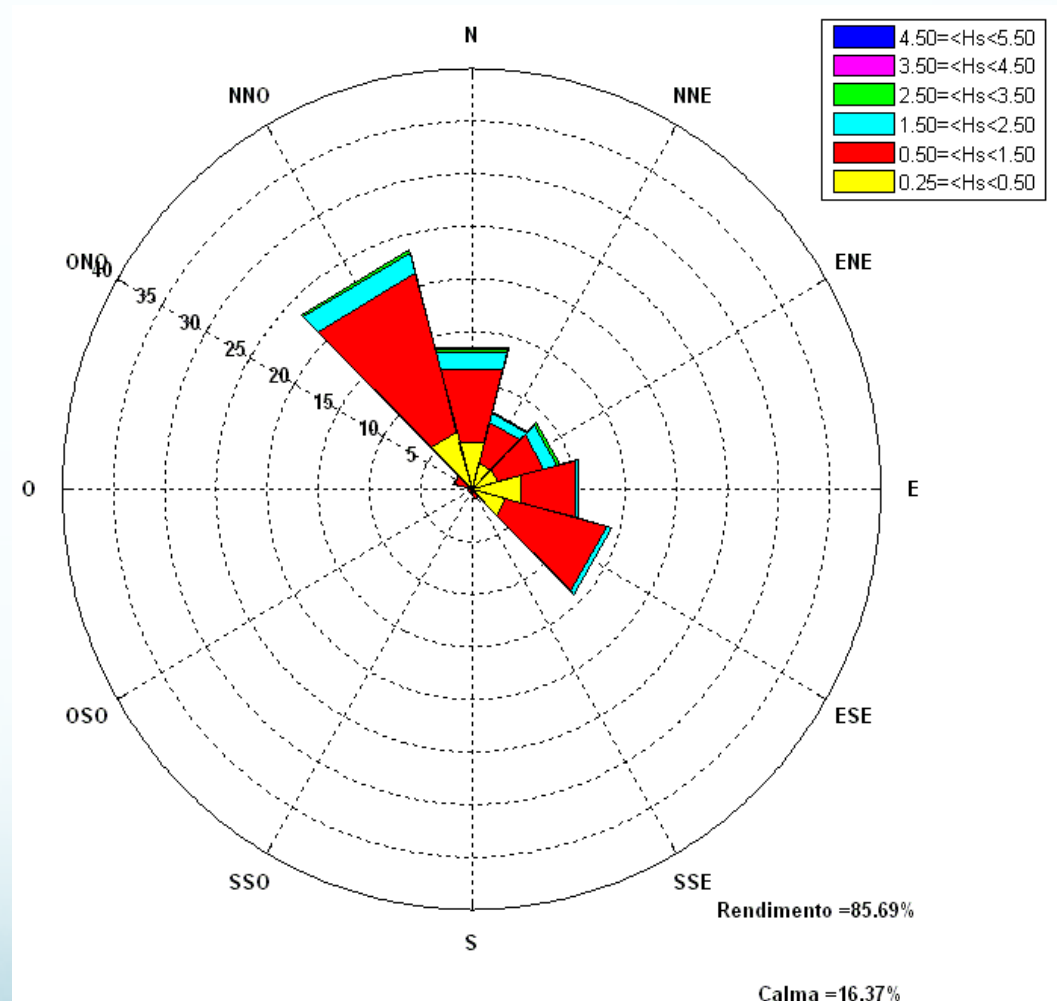
dir (°N)	Altezza significativa Hs (m)						
	0.25 - 0.50	0.50 - 1.50	1.50 - 2.50	2.50 - 3.50	3.50 - 4.50	4.50 - 5.50	totale
0	4.58	7.20	1.65	0.36	0.06	0.00	13.85
30	2.59	4.05	0.91	0.16	0.03	0.00	7.74
60	2.72	4.63	1.26	0.33	0.04	0.01	8.99
90	5.04	5.48	0.25	0.04	0.00	0.00	10.81
120	3.51	10.15	0.52	0.01	0.00	0.00	14.19
150	0.37	0.57	0.02	0.00	0.00	0.00	0.96
180	0.21	0.24	0.01	0.00	0.00	0.00	0.46
210	0.21	0.19	0.02	0.00	0.00	0.00	0.42
240	0.16	0.21	0.01	0.00	0.00	0.00	0.38
270	0.19	0.25	0.02	0.00	0.00	0.00	0.46
300	0.50	1.20	0.14	0.02	0.00	0.00	1.86
330	5.63	15.58	2.04	0.26	0.02	0.00	23.53
TOT	25.71	49.75	6.85	1.18	0.15	0.01	83.65

Frequenze di apparizioni annuali

Classificazione per classi di altezza d'onda e direzione di provenienza del moto ondoso

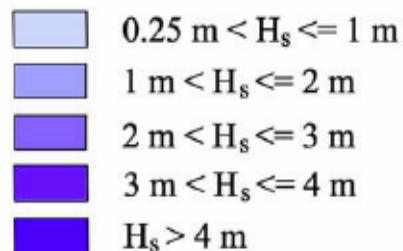
Esempio di rosa del moto ondoso (boa RON di Monopoli)

- Settore di traversia compreso tra NNO – ESE;
- max frequenza di apparizione NNO (23.5%), quindi ESE (14.2%);
- (calma + classe Hs-0.5m)=25.71%;
- Hs compresa tra 0.5÷1.0m = 49.75%;
- Hs > 2.5m = 1.34%

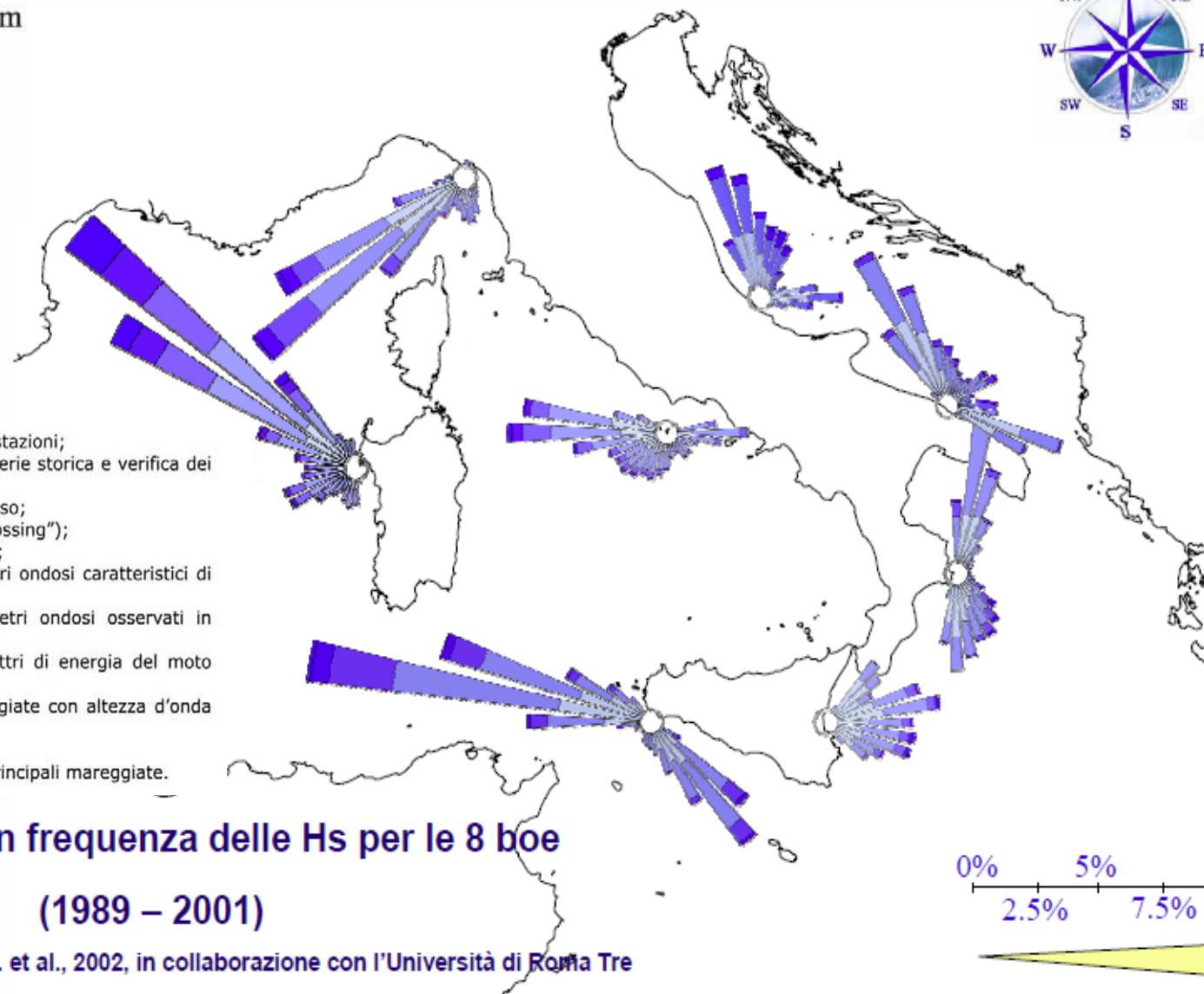


Frequenze di apparizioni
annuali

Atlante delle Onde dei Mari Italiani



- ✓ valutazione del rendimento delle singole stazioni;
- ✓ recupero dati, copertura dei buchi nella serie storica e verifica dei dati misurati;
- ✓ analisi dei regimi direzionali di moto ondoso;
- ✓ analisi delle onde individuali (zero "up-crossing");
- ✓ verifica della tecnica di analisi direzionale;
- ✓ definizione delle correlazioni tra parametri ondosi caratteristici di uno stato di mare;
- ✓ definizione delle correlazioni tra parametri ondosi osservati in stazioni diverse;
- ✓ parametrizzazione delle forme degli spettri di energia del moto ondoso;
- ✓ determinazione della durata delle mareggiate con altezza d'onda sopra soglia;
- ✓ analisi statistiche degli eventi estremi;
- ✓ analisi meteorologica della genesi delle principali mareggiate.



Distribuzione in frequenza delle H_s per le 8 boe

(1989 – 2001)

“Atlante delle onde”, Franco L. et al., 2002, in collaborazione con l'Università di Roma Tre

Analisi dei Dati Ondametrici Rete Regione Puglia

-Isole Tremiti

mareggiate provenienti da NNO molto intense, con una frequenza abbastanza elevata, che sono sistematicamente sottostimate in termini di altezza d'onda dal modello di trasposizione applicato ai dati della boa RON di Pescara.

-Bari

lievi differenze rispetto alle risultanze delle analisi dei dati della boa RON di Monopoli, riportate nell'Atlante delle Onde nei Mari Italia, imputabili alla minore esposizione del paraggio di Bari alle onde di scirocco.

-Taranto

regime unimodale con una netta prevalenza di stati di mare provenienti da SSE.



Determinazione dell'onda di progetto – analisi degli eventi estremi

Le onde di mare
generate da vento
sono considerate
eventi stocastici

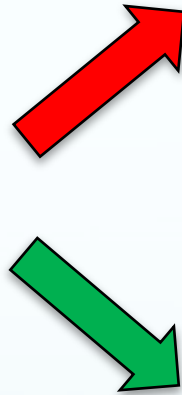


~~Metodi
deterministici~~

Metodi
probabilistici

Determinazione dell'onda di progetto – analisi degli eventi estremi

Le onde di mare
generate da vento
sono considerate
eventi stocastici



~~Metodi
deterministici~~

Metodi
probabilistici

Individuazione dell'altezza d'onda H_s di assegnato Tempo di Ritorno T_R (numero di anni in cui in cui tale altezza viene mediamente raggiunta o superata una sola volta)

EVENTI ESTREMI

Elaborazioni statistiche della serie storica delle mareggiate al fine di stimare l'altezza d'onda relativa ad un prefissato tempo di ritorno.

➤ RICOSTRUZIONE DELLA SERIE TRONCA

- ❖ MASSIMI ANNUALI

- ❖ EVENTI SUPERIORI AD UN VALORE SOGLIA (metodo POT Peak Over Treshold)

➤ REGOLARIZZAZIONE STATISTICA

LEGGI DI DISTRIBUZIONE:

- ❖ GUMBEL

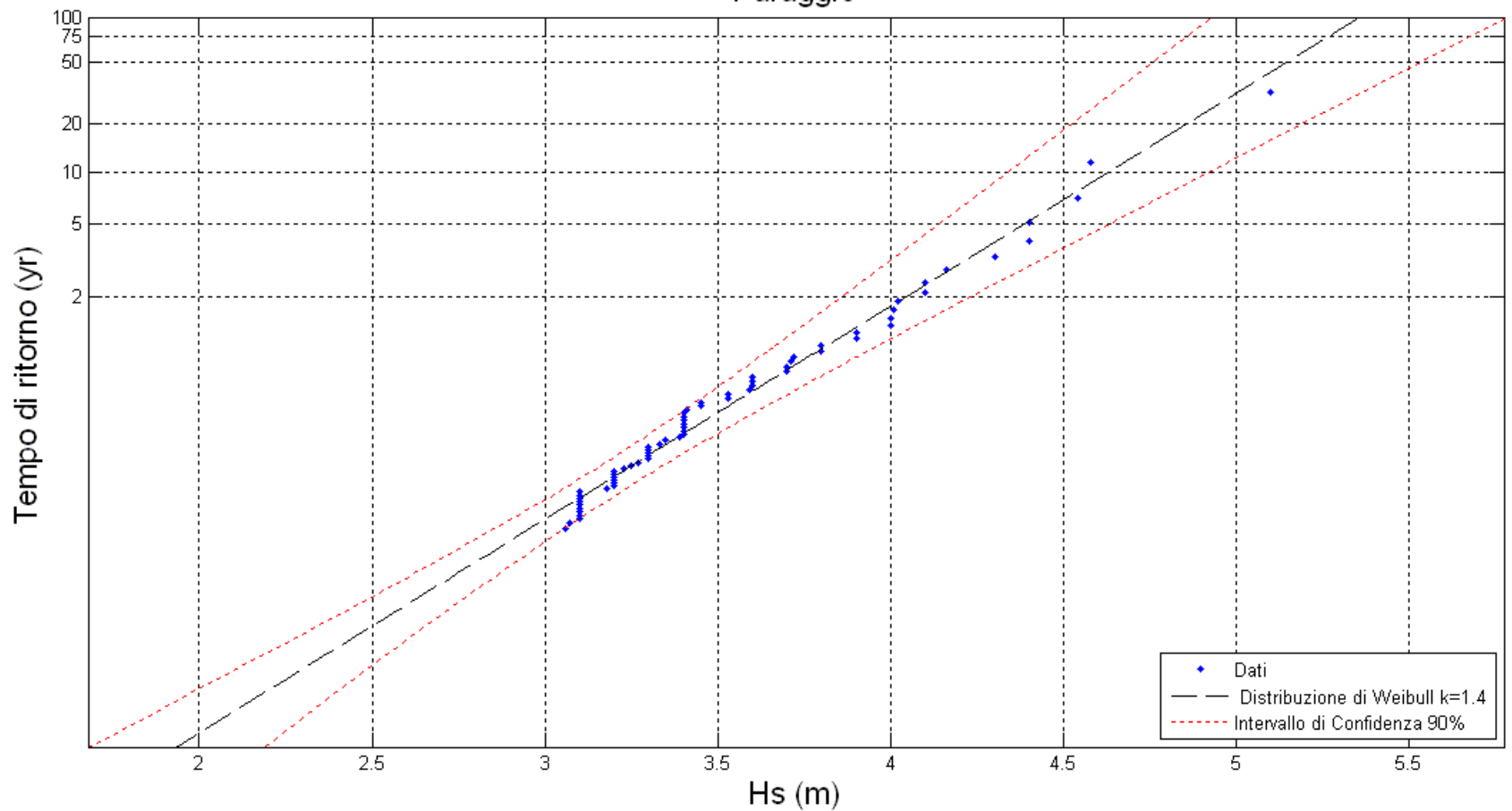
- ❖ WEIBULL

- ❖ FULLER

➤ TEST STATISTICI

- ❖ COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE

- ❖ χ^2

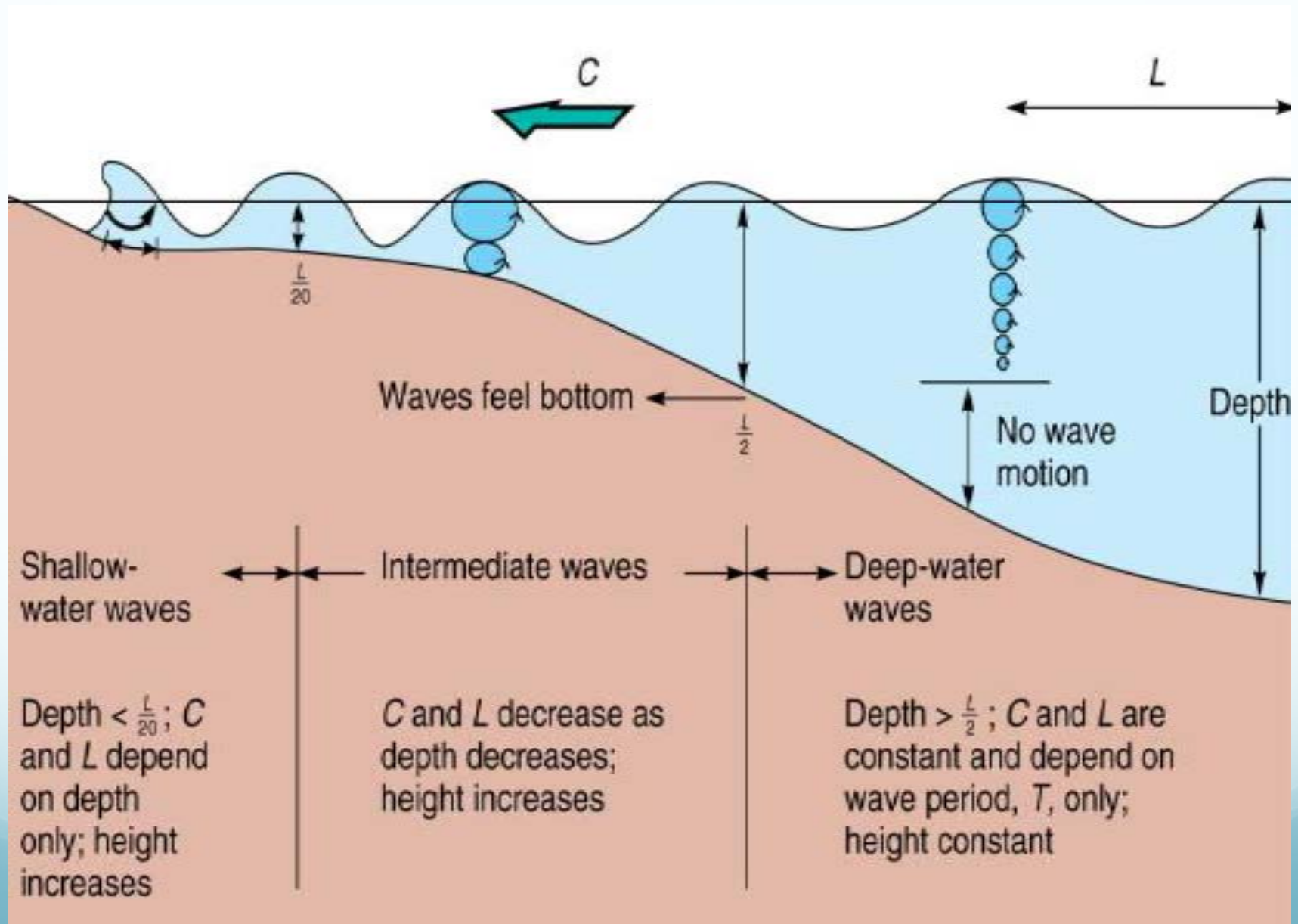


*Valori estremi di altezza d'onda nell'intero paraggio
(distribuzione di Weibull – $k = 1.4$).*

Tempo di ritorno (anni)	$H_{s \max}$ (m)
100	5.35
75	5.26
50	5.14
25	4.93
20	4.86
10	4.63
5	4.39
1	3.75

*Valori estremi di altezza d'onda nell'intero paraggio
(distribuzione di Weibull – $k = 1.4$).*

Propagazione del moto ondoso ai bassi fondali



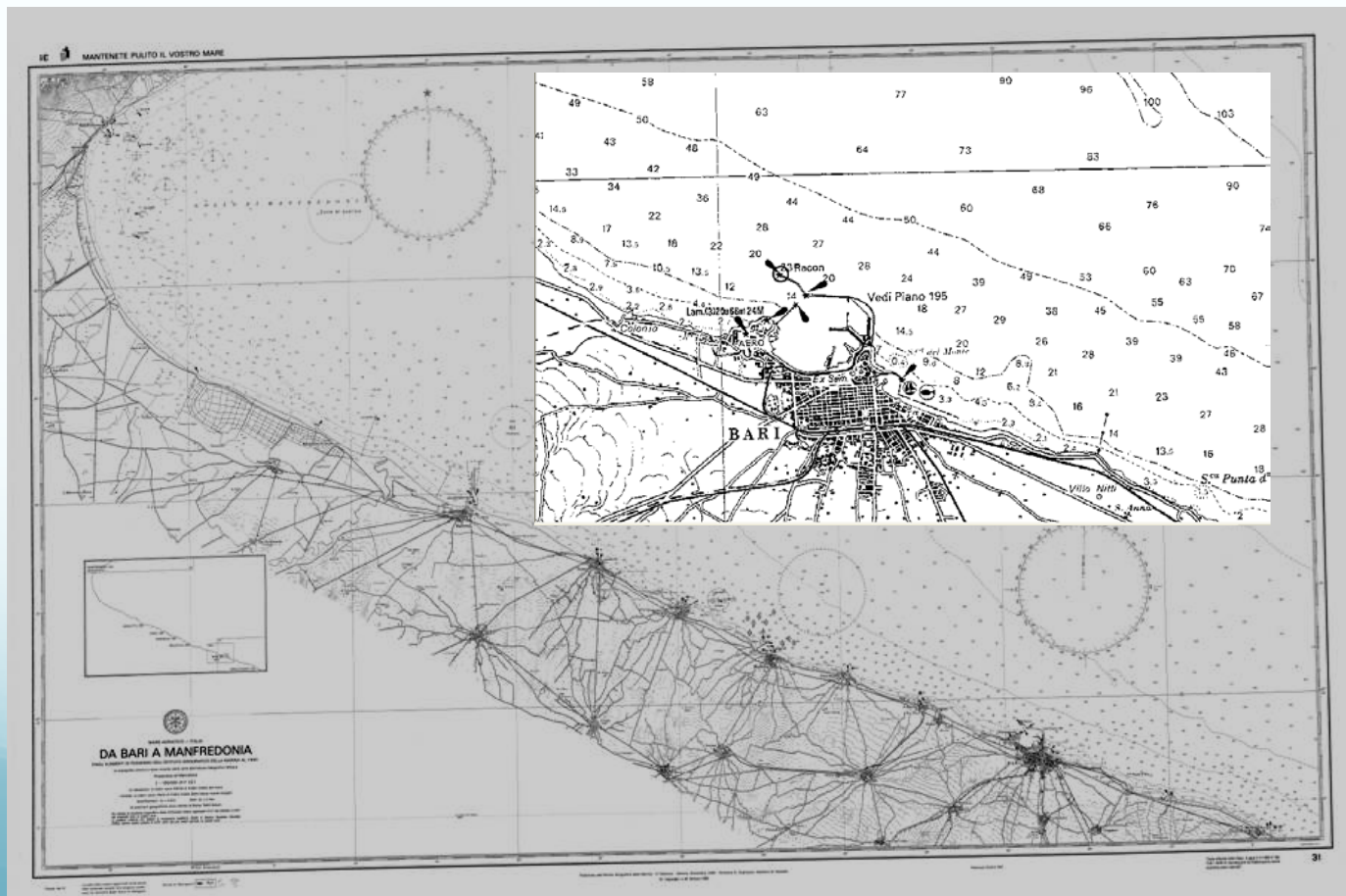
Modelli per lo studio della propagazione del moto ondoso

- metodi monodimensionali, che risultano validi nel caso di batimetrie cilindriche ovvero per spiagge rettilinee;
- metodi di propagazione a raggi, che pervengono al cosiddetto tracciamento dei piani d'onda;
- metodi numerici che risolvono il sistema di equazioni differenziali che regolano la propagazione del moto ondoso

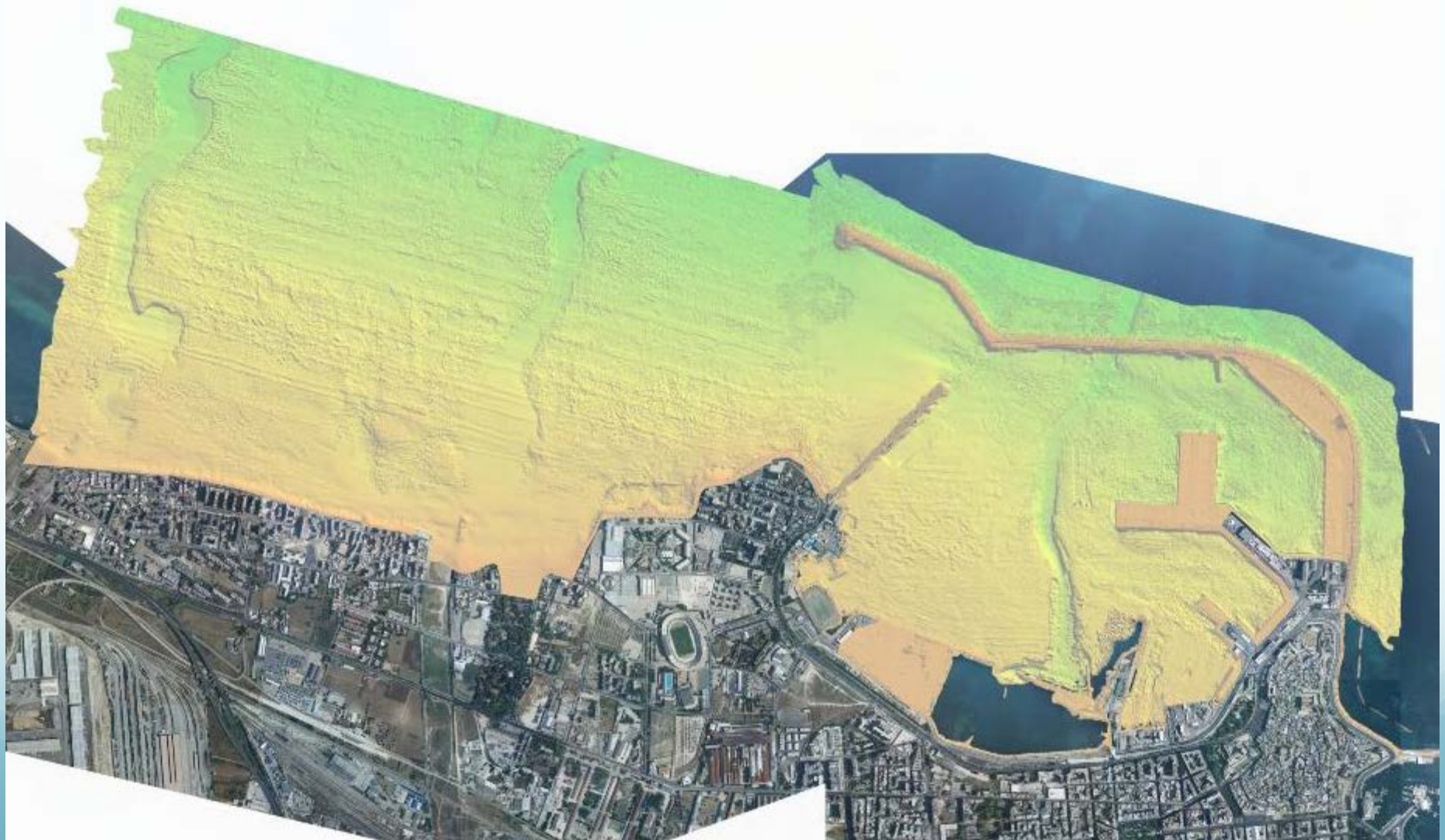
TUTTI I METODI RICHIEDONO IN INPUT LA BATIMETRIA E LE CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO (altezza, periodo, direzione)

I modelli matematici richiedono la batimetria del paraggio in esame sotto forma di profondità nei nodi di una griglia.

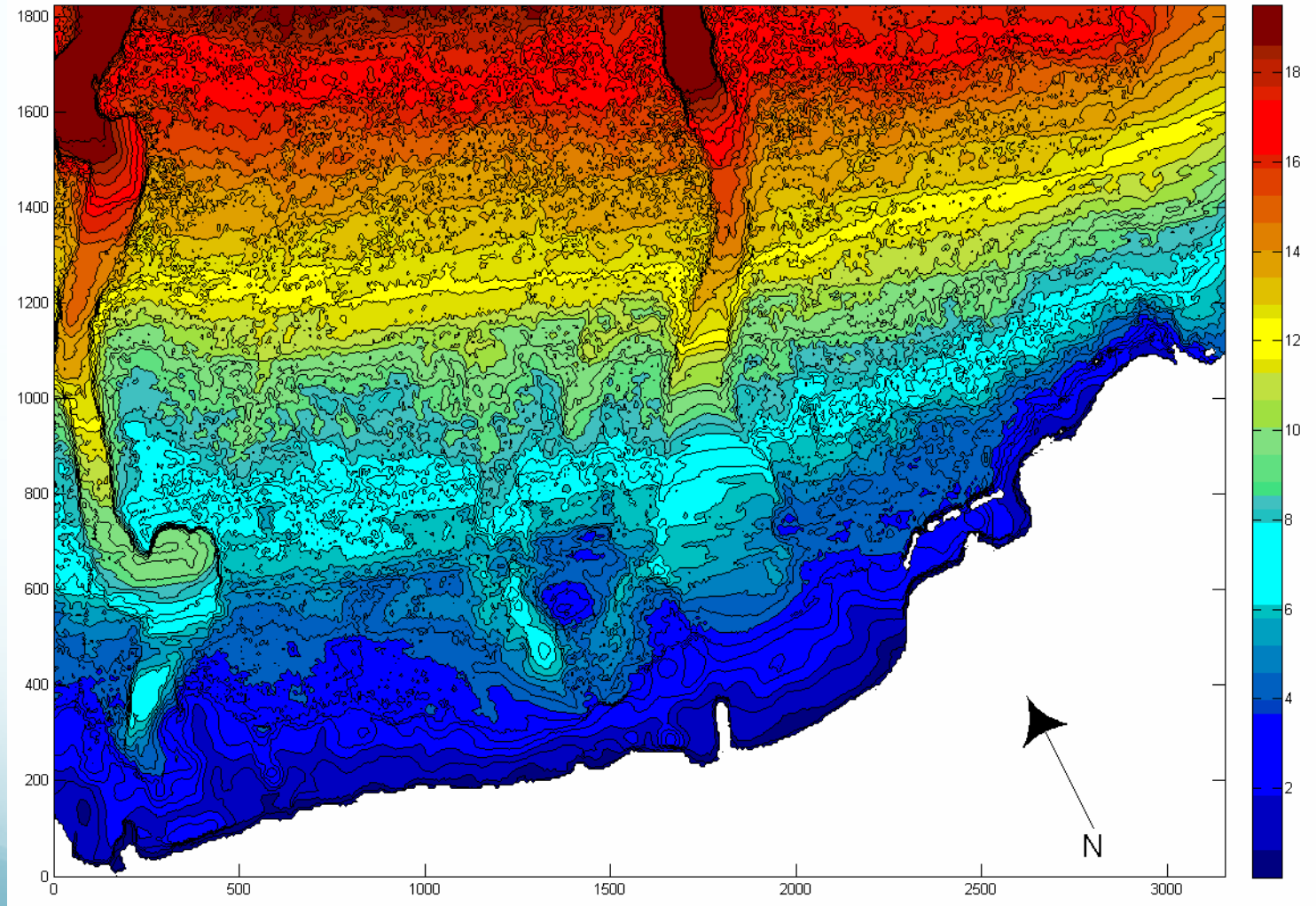
- Reperimento cartografia
- Georeferenziazione
- Digitalizzazione
- Creazione DTM
- Estrazione reticolo



Esempio di restituzione grafica di un rilievo «multibeam» dei fondali

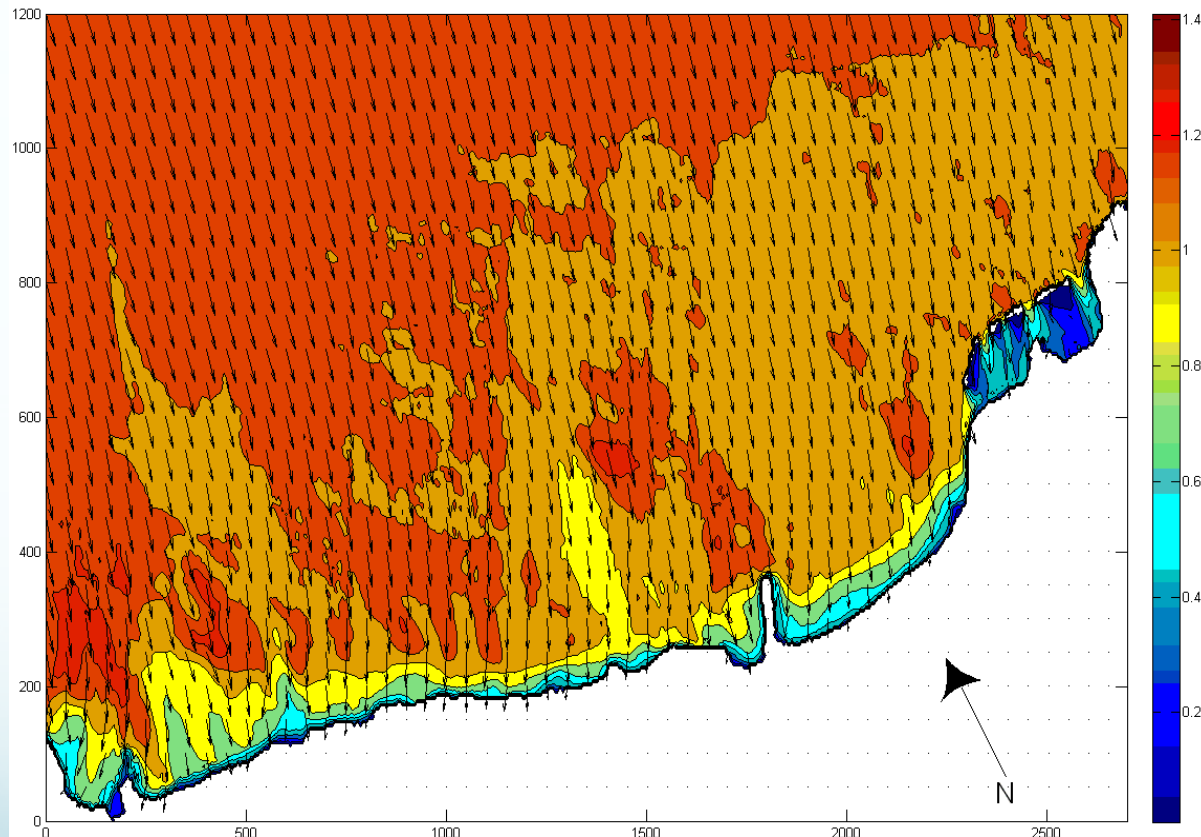


Esempio di input batimetrico del modello di propagazione



Esempio di output del modello di propagazione

SWAN (Simulating WAve Nearshore) modello diretto spettrale di terza generazione che simula lo sviluppo degli spettri d'onda che viaggiano da acque profonde verso acque poco profonde



Restituisce le caratteristiche delle onde in tutti i punti della griglia di calcolo

Relazioni per il calcolo di velocità ed accelerazioni indotte dalle onde di mare (Teoria lineare)

$$u(t) = \frac{H}{2} \cdot \frac{gT}{L} \cdot \frac{\cosh[2\pi(z + d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cdot \cos\left(-\frac{2\pi t}{T}\right)$$

$$a(t) = \frac{g\pi H}{L} \cdot \frac{\cosh[2\pi(z + d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cdot \sin\left(-\frac{2\pi t}{T}\right)$$

dove:

z = coord. vert. Diretta verso l'alto (a partire dal l.m.m.) = $-d + D/2$

L = lunghezza d'onda

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad \text{Legge di dispersione}$$

Relazioni per il calcolo di velocità ed accelerazioni indotte dalle onde di mare (Teoria lineare)

$$u(t) = \frac{H}{2} \cdot \frac{gT}{L} \cdot \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cdot \cos\left(-\frac{2\pi t}{T}\right)$$

Variabili nel tempo

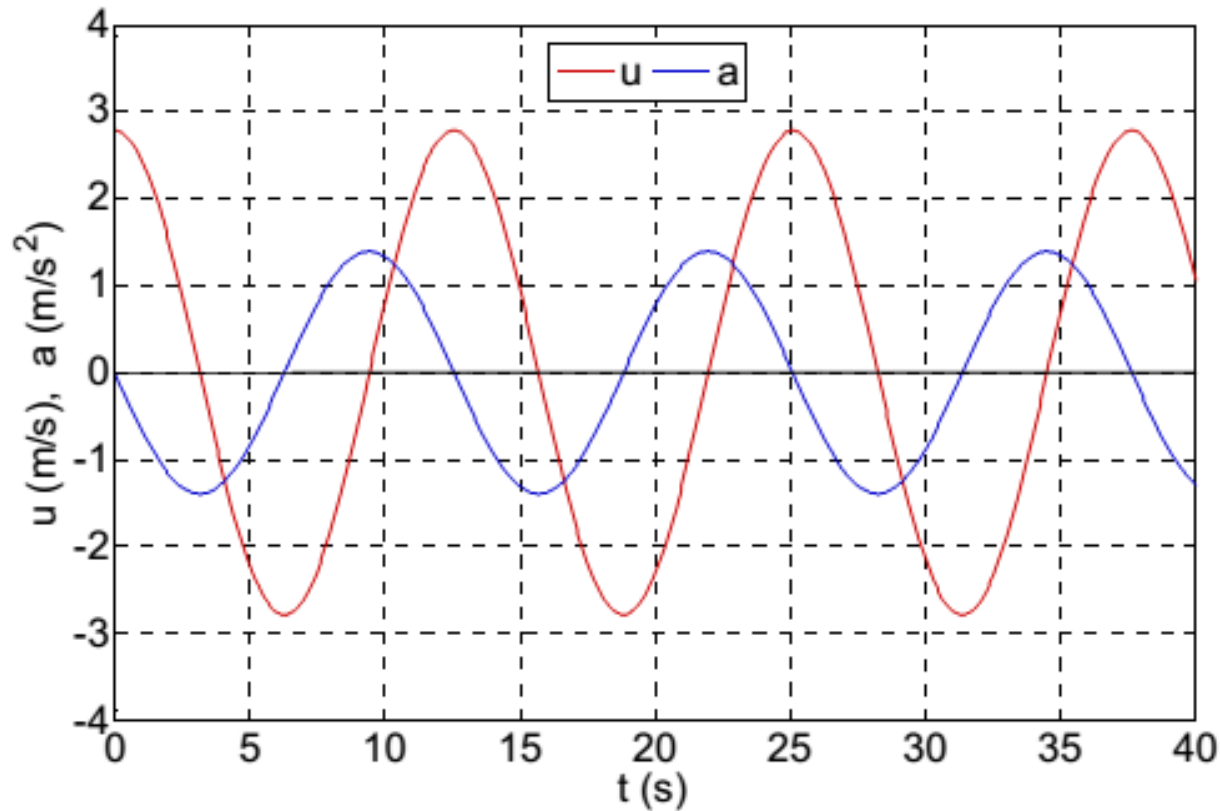
$$a(t) = \frac{g\pi H}{L} \cdot \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cdot \sin\left(-\frac{2\pi t}{T}\right)$$

dove:

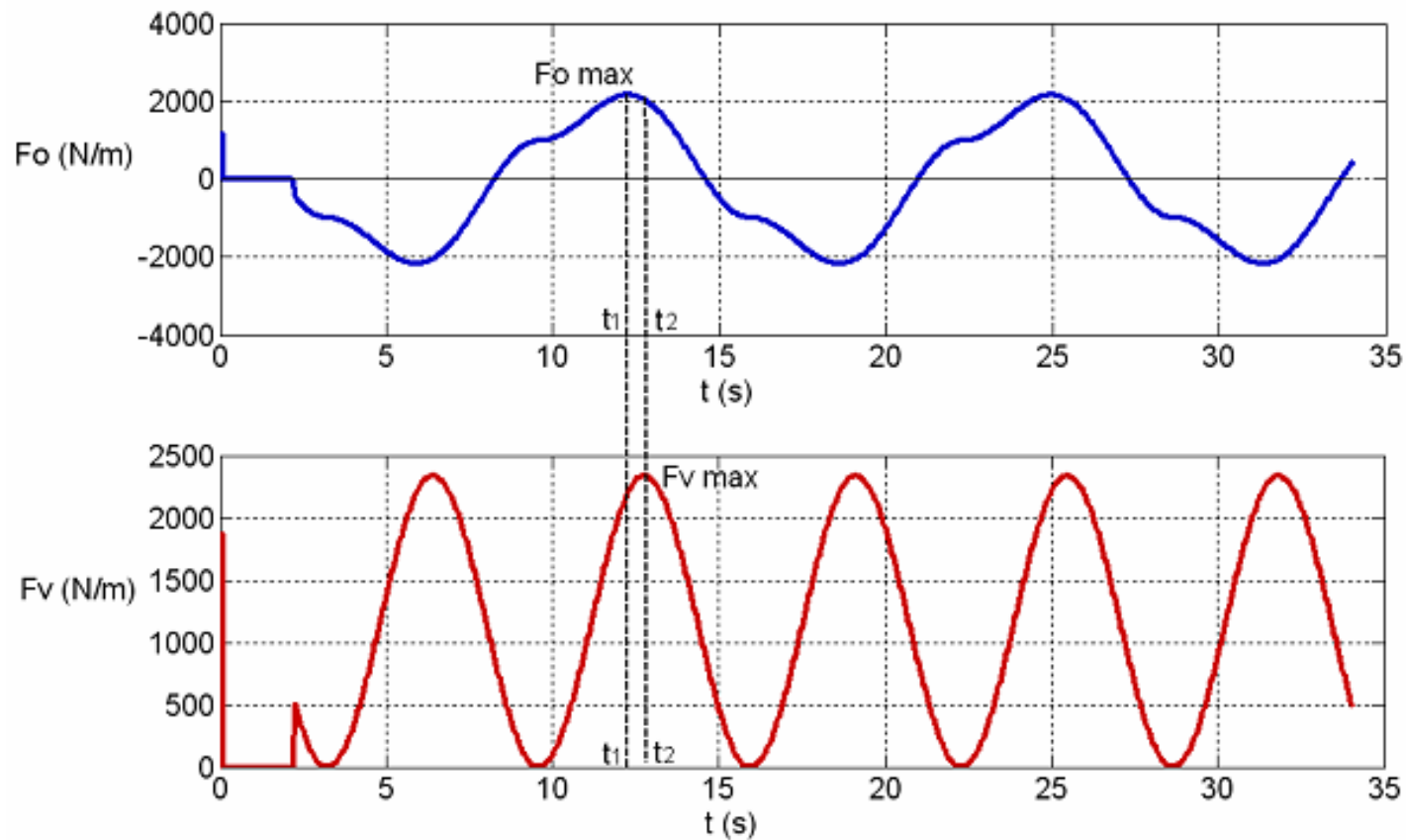
z = coord. vert. Diretta verso l'alto (a partire dal l.m.m.) $= -d + D/2$

L = lunghezza d'onda

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad \text{Legge di dispersione}$$



Andamento temporale di velocità ed accelerazione di campo di moto indisturbato in corrispondenza dell'asse trasversale di una sezione di una condotta sottomarina



Andamento temporale delle forze verticali ed orizzontali agenti sull'asse trasversale di una condotta sottomarina e individuazione degli istanti temporali corrispondenti ai massimi delle forze, da considerare per le verifiche di stabilità



GRAZIE