

# Survey integrato per la ricostruzione del porto di Haiti



Fig. 1 – Port-au-Prince distrutto dopo il terremoto (credit: Wikimedia).

di **Andrea Faccioli**

**Dopo il terremoto, il primo passo è stato una serie di indagini batimetriche, idrogeologiche, topografiche e aeree. Una società italiana, strumentazione d'eccellenza.**

**I**l 12 gennaio 2010 un terribile terremoto ha colpito lo Stato caraibico di Haiti. Oltre alle numerosissime vittime ed agli ingenti danni, il sisma ha gravemente danneggiato il porto della capitale, Port-au-Prince. In particolare, ha completamente distrutto il Molo Nord, lungo 450 metri, dedicato al traffico di container, rendendo impossibile lo sbarco degli aiuti umanitari e delle merci.

Data l'importanza strategica dell'infrastruttura, il Ministero dell'Economia e delle Finanze di Haiti ha finanziato la progettazione e la ricostruzione di Port-au-Prince, proprio a cominciare dal molo Nord.

## **Rilievi batimetrici e topografici preliminari: il programma**

La ricostruzione del porto necessitava di una accurata progettazione.

La progettazione necessitava di precise informazioni sul territorio nella sua nuova conformazione, dopo i terribili movimenti sismici.

E' stato studiato un articolato programma di indagini - geomorfologiche, batimetriche, topografiche e idrografiche - che potessero dare ai progettisti le basi indispensabili per lo studio della nuova infrastruttura.

Il piano delle indagini è stato affidato ad una brillante società di servizi italiana, la Te.Ma. di Faenza, che ha portato ad Haiti una squadra di 6 specialisti sur-

veyor per l'esecuzione dei rilievi dell'intera baia portuale di Port-au-Prince, tra cui:

- Implementazione di una nuova rete geodetica, collegata al sistema di riferimento nazionale, mediante materializzazione di nuovi capisaldi di riferimento e rilievo DGPS in modalità statica di tutti i vertici della rete;
- Rilievo batimetrico con ecoscandagli Multibeam e Singlebeam, per ottenere il modello 3D dell'intera area portuale;
- Rilievo geomorfologico Side Scan Sonar, per individuare eventuali target sommersi;
- Rilievo topografico della zona, con tecnica fotogram-

metrica da drone, per realizzare il DTM (Digital Terrain Model) e il mosaico di ortofo to ad alta risoluzione;

- Rilievo topografico terrestre, mediante stazioni Totali e tecniche DGPS RTK.

Infine, l'installazione di una stazione mareografica, una meteorologica e una correntometrica per determinare tutti i parametri idrologici ed idrodinamici della baia del Porto.

### Strategia operativa

Per rilevare la parte sommersa si è allestita una imbarcazione con la strumentazione all'avanguardia presente sul mercato in quegli anni.

*In mare aperto* – per ottenere il modello 3D dei fondali – si sono utilizzati:

- Multibeam beamformer Teledyne RESON 8125, 455 kHz
- Multibeam interferometric SEA SwathPLUS, 468 kHz
- girobussola e sensore di moto Ixa Octans
- sonde multiparametriche Teledyne RESON SVP-15 e Teledyne RESON SVP-C per la determinazione del profilo della velocità del suono lungo la colonna d'acqua e in prossimità del trasduttore
- Sistema di posizionamento satellitare DGPS-RTK a doppia frequenza

*Nei bassi fondali*, e nelle zone inaccessibili, l'imbarcazione montava:

- sistema batimetrico Singlebeam Tritech PA500
- girobussola e sensore di moto Teledyne TSS DMS05
- sonda multiparametrica Teledyne RESON SVP-15 per la determinazione del profilo della velocità del suono

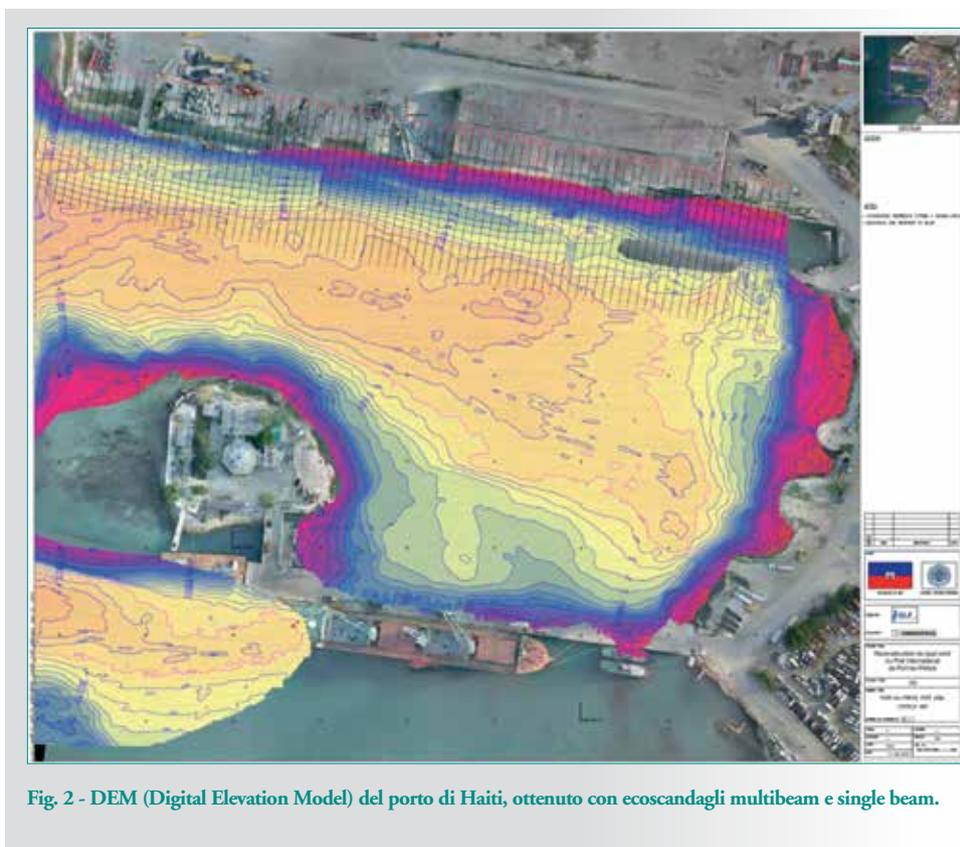


Fig. 2 - DEM (Digital Elevation Model) del porto di Haiti, ottenuto con ecoscandagli multibeam e single beam.

- Sistema di posizionamento satellitare DGPS-RTK a doppia frequenza
  - Rilievo topografico mediante tecniche topografiche tradizionali (Stazione Totale) e tecniche satellitari (DGPS RTK)
  - Acquisizione di dati di posizione DGSP RTK da operatore appiedato lungo runlines di progetto
  - Integrazione dei dati con metodologia celerimetrica per le aree inaccessibili
- Per il rilievo della parte emersa e delle infrastrutture esistenti:*
- Rilievo fotogrammetrico con velivolo drone Sensefly eBee
  - Sovrapposizione minima degli scan 70%
  - Altezza di volo 117 m e GSD 3.5 cm
  - Calibrazione del modello 3D mediante rilievo topografico DGPS – RTK e celerimetrico
- di marker a terra
- Infine, a corredo dei rilievi del

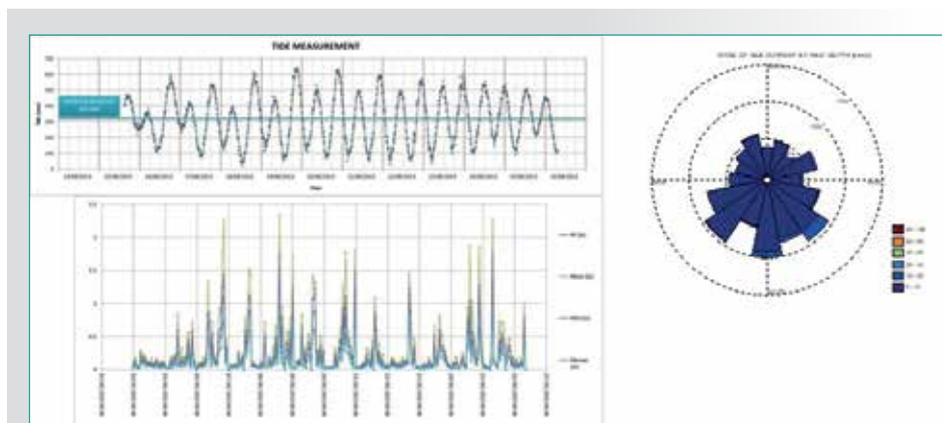


Fig. 3 - I dati di marea, onde e corrente raccolti nel porto dal correntometro ADCP.

### Rilievo di fondali: il sonar Multibeam

Il Sonar Multibeam è un particolare ecoscandaglio, che rileva il fondale su una fascia perpendicolare al moto dell'imbarcazione. Con il movimento della barca ottiene un rilievo 3D del fondale.

Ne esistono due tipologie: Multibeam Beamforming e Multibeam Interferometrico. Entrambe forniscono come risultato "nuvole di punti". Non si può dire che una delle due tecniche sia migliore dell'altra, ma i pro e contro di ognuna si sposano bene con i diversi impieghi che sono chiamati a svolgere.

Il Multibeam Interferometrico è un Side Scan Sonar evoluto, in grado di fornire immagini di qualità e di coprire uno swath (striscia di copertura) molto ampio rispetto alla colonna d'acqua, utilissimo in acque molto basse (fino a 5-10 m di profondità).

Di contro, la nuvola di punti risulta più rumorosa e spesso inadatta a rilevare con precisione manufatti e piccoli target. Inoltre, proprio per la natura del Side Scan Sonar da cui ha origine (che "guarda" lateralmente), l'Interferometrico presenta una mancanza di dati al Nadir, sulla verticale della barca.

Il Multibeam Beamformer - più tradizionale e diffuso - ha invece una apertura dello Swath definita (da 120 a 165° a seconda dei modelli). Il vantaggio è nella qualità geometrica della nuvola di punti: alta precisione e rumore contenuto.

Inoltre, anche con i Multibeam Beamformer più semplici è possibile rilevare profondità superiori (200 m e oltre) e lo swath è rilevato anche al Nadir.

Tra gli interferometrici, il glorioso SwathPLUS utilizzato nei rilievi qui descritti, ha fatto parlare di sé già dagli anni Novanta. Ora è profondamente rinnovato, e il nuovo modello BathySwath-2 mantiene le caratteristiche di compattezza, economicità e versatilità che ne hanno fatto il Multibeam Interferometrico più venduto in Italia, adottato anche dall'Istituto Idrografico della Marina. BathySwath-2 è corredato di un software per l'acquisizione e il trattamento dei dati, che può rendere superfluo l'uso del software idrografico.

Tra i Beamformer, lo storico Teledyne RESON 8125 impiegato ad Haiti ha ora il degno successore nel SeaBat T50-P: lo strumento portatile più performante in commercio. Sistema ad altissima risoluzione, fornisce dati puliti senza precedenti. È progettato per l'installazione rapida su imbarcazioni più piccole, riduce i tempi di survey nei luoghi impervi.

### Il sistema di posizionamento, il controllo di assetto dell'imbarcazione

Per posizionare correttamente i dati rilevati dal Multibeam è necessario conoscere costantemente e con precisione la posizione e l'assetto dell'imbarcazione.

Le soluzioni più performanti si basano su un ricevitore GNSS a doppia antenna (per i dati di posizione, imbardata e sincronia temporale) integrato ad un IMU - Inertial Measurement Unit - per la misura di beccheggio, rollio e moto ondoso. In questo modo, tutti i dati affluiscono insieme e già sincronizzati al sistema di acquisizione del Multibeam.

Applanix è un riferimento di mercato nel mondo del rilievo marino. SBG Systems fornisce interessanti sensori

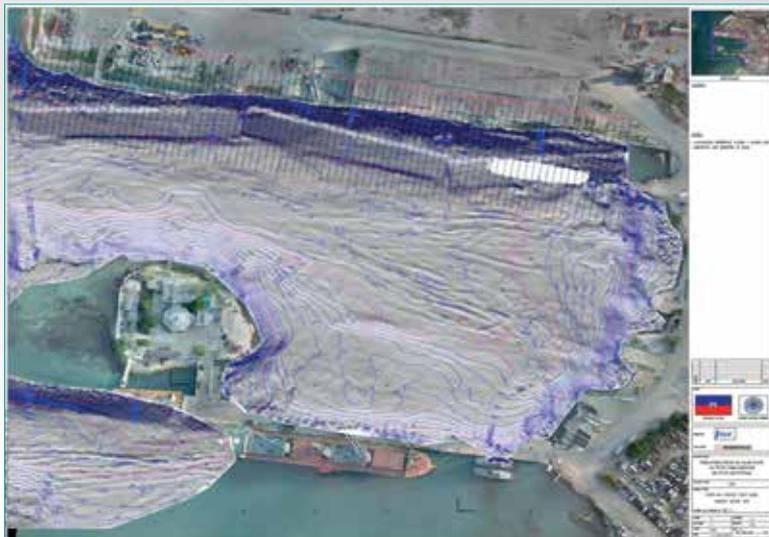


Fig. 5 - SHR (SHaded Relief map) del porto; nella parte alta si vedono i tre tronconi del molo spezzati.

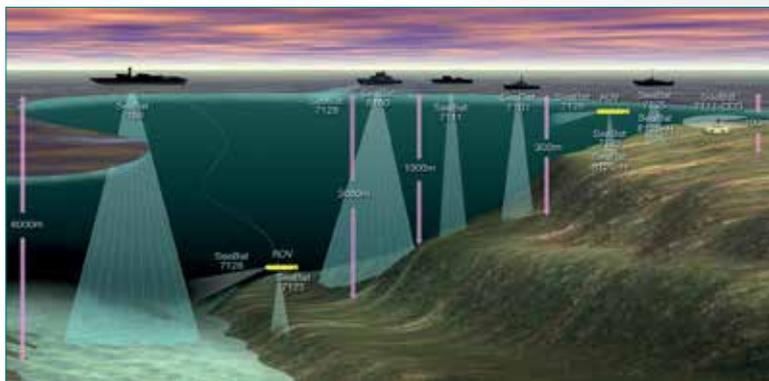


Fig. 6 - La principale differenza tra Multibeam Interferometrico e Multibeam Beamformer è esemplificata in questa immagine.

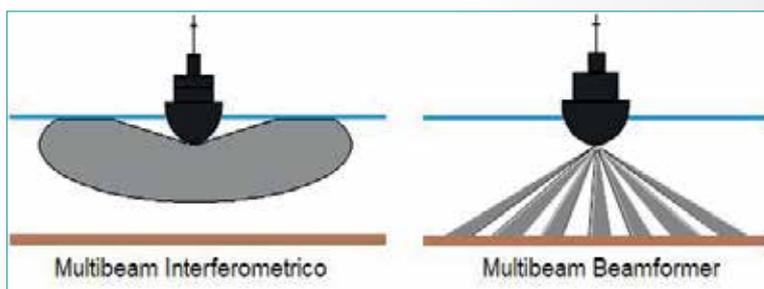


Fig. 7 - Rilievo batimetrico con multibeam beamformer Teledyne RESON.

miniaturizzati, integrando i sensori di moto con un ricevitore satellitare a doppia antenna di classe geodetica.

### Ecoscandaglio single beam: per rilievi in acque basse

Un ecoscandaglio singlebeam è utile da integrare al Multibeam Interferometrico, per completare i dati con misure al Nadir. Oppure al posto del Multibeam stesso, per rilievi in acque basse. Sonarmite è un ecoscandaglio completamente digitale che trasmette in bassa potenza. Ciò fa sì che lo strumento sia molto piccolo (12x22x8 cm), leggero (1,5 kg con la batteria incorporata) e versatile: può, infatti, essere usato anche da solo per rilievi speditivi.

territorio e per future misurazioni sono state installate:

- una stazione mareografica e meteorologica per la misura in continuo dei livelli di marea (mediante sensori radar ed a pressione), pressione barometrica, temperatura, umidità, velocità e direzione del vento, piovosità
- una stazione correntometrica sottomarina con ADCP (Acoustic Current Doppler Profiler) per la misura in continuo di direzione e intensità della corrente e altezza delle onde

Al termine dei rilievi, il team guidato da Gian Franco e Matteo Castelli – titolari della Te.Ma. – ha potuto consegnare i risultati e le mappe necessari per la progettazione preliminare ed il programma degli interventi:

- Ortomosaico ad alta risoluzione e DTM delle parti emerse
- DEM del fondale, SHaded Relief map (SHR) e planimetrie a curve isobate
- Mosaico Side Scan Sonar
- Planimetria generale e sezioni topografiche
- Dati meteo e di corrente

Tra i primi interventi, la rimozione mirata dei tre tronconi in cui si è spezzata la banchina, per garantire l'accesso in sicurezza delle navi agli approdi temporanei del Porto. I tronconi si sono riversati sul fondale e sono ben visibili nella SHR (Fig. 5).

#### La ricostruzione

La costruzione è stata portata a termine dall'italo-americana GLF Construction Corporation, società partecipata da Grandi Lavori Fincosit Spa.

È stata costruita una nuova banchina di 410 m di lunghezza x

30 m di larghezza, adiacente ad un ampio cortile di accatastamento (altri 410 x 20 m) e una rampa di roll-on e roll-off di 30 x 30 m. Inoltre, di fronte al nuovo molo è stato realizzato un dragaggio di 100 x 410 metri a quota -11.5. La nuova banchina è stata completamente equipaggiata con attrezzature di ormeggio all'avanguardia. L'intera area sotto la banchina, il cortile e la rampa è stata enormemente migliorata, al fine di resistere a eventuali futuri eventi sismici. La banchina è stata costruita per supportare le attrezzature di carico e scarico delle navi e per facilitare l'uso di uno scaricatore su binari. Finalmente, il 22 gennaio 2016, sono stati inaugurati i primi 150 metri del Molo Nord. Moltissime le autorità presenti, la comunità produttiva di Haiti, i rappresentanti delle società che hanno partecipato al ritorno di Haiti nella catena del trasporto marittimo, a restituire il porto come fondamentale leva del suo sviluppo.

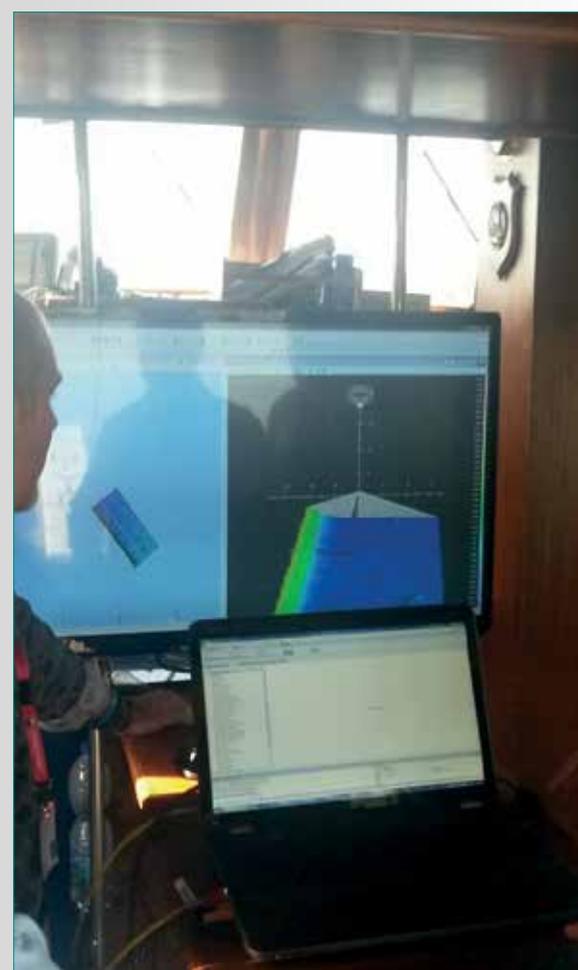


Fig. 4 – Rilievo batimetrico in corso con multibeam beamformer Teledyne RESON.

#### PAROLE CHIAVE

RILIEVO; HAITI; TERREMOTO; BATIMETRIA; TOPOGRAFIA; MULTIBEAM; DRONI; RTK; MODELLO 3D; DEM; ORTOFOTOMOSAICO; IMU; GNSS

#### ABSTRACT

On 12 January 2010, a terrible earthquake struck the Caribbean state of Haiti. In addition to the numerous victims and the huge damages, the earthquake seriously damaged the port of the capital, Port-au-Prince. In particular, it completely destroyed the 450-meter North Pier, dedicated to the container traffic, making it impossible to disembark humanitarian aid and goods.

Given the strategic importance of the infrastructure, the Ministry of Economy and Finance of Haiti has financed the design and reconstruction of Port-au-Prince, starting from the North pier.

After the earthquake, the first step was a series of bathymetric, hydrogeological, topographical and aerial surveys realized by an Italian company.

#### AUTORE

ANDREA FACCIOLI  
ANDREA.FACCIOLI@CODEVINTEC.IT  
DIRETTORE COMMERCIALE CODEVINTEC