

LA TECNOLOGIA LASER SCANNING TERRESTRE PUÒ ESSERE UTILE PER IL MONITORAGGIO DELLE DIFESE COSTIERE?

CAN THE GROUND LASER SCANNING TECHNOLOGY BE USEFUL FOR COASTAL DEFENSES MONITORING?

MASSIMO CALDARA(*), DOMENICO CAPOLONGO(*), BARTOLOMEO DAMATO(**) & LUIGI PENNETTA(*)

(*) Università degli Studi di Bari - Dipartimento di Geologia e Geofisica, Sezione di Geografia Fisica e Geomorfologia
Campus Universitario, Via Orabona 4, 70125 Bari, Italia

(**) Università degli Studi di Bari - Dottorato di Ricerca in Geomorfologia e Dinamica Ambientale

RIASSUNTO

Il problema dell'erosione costiera è molto sentito in Puglia (Italia). Negli ultimi 50 anni la linea di costa del Golfo di Manfredonia ha subito un forte arretramento per cause naturali ma anche per la crescente attività antropica. Gli interventi di salvaguardia della costa e di contenimento del fenomeno sono rappresentati, per il momento, dalle oltre 300 opere di difesa fin qui realizzate. Nel presente lavoro è stata, dunque, ricostruita l'evoluzione recente della linea di riva di questo tratto della costa pugliese, ponendo nel contempo particolare attenzione al ruolo svolto dalle opere di difesa. Per verificare l'integrità attuale di queste infrastrutture è stato effettuato un primo tentativo di monitoraggio mediante laser scanner terrestre. Si è potuto così appurare che la strategia di risposta al problema dell'erosione è stata fino ad oggi perdente per tre ragioni: 1) mancanza di coordinamento negli interventi, 2) scarsa conoscenza della dinamica costiera locale e 3) nessuna manutenzione delle opere. In definitiva i risultati preliminari del rilievo con laser scanner del paraggio tra Manfredonia e Barletta hanno fornito utili indicazioni per la pianificazione di un più ampio monitoraggio sulle difese costiere pugliesi in risposta alle sollecitazioni del clima meteomarinico tipico del medio-basso Adriatico.

TERMINI CHIAVE: *laser scanner terrestre, protezione dei litorali, Golfo di Manfredonia, Puglia (Italia)*

INTRODUZIONE

La Puglia si affaccia nel Mediterraneo incuneandosi con la penisola salentina tra il Mare Adriatico ed il Mar Jonio. Il suo sviluppo costiero è di circa 829 km, dei quali il 38% è costituito da spiagge, il 57% da coste rocciose alte ed il rimanente 5% da aree urbanizzate (AA. VARI, 1992).

Le coste sabbiose in particolare sono interessate da un generale arretramento (CALDARA *et alii*, 1998) che può essere ascritto all'innalzamento olocenico del livello del mare, alla subsidenza da costipamento dei depositi costieri ed alla diminuzione della portata solida dei fiumi dovuta alla costruzione di numerose dighe negli ultimi decenni. Un ultimo fattore di non trascurabile impatto è rappresentato dalla frequenza delle mareggiate, che condizionano attivamente l'arretramento della costa. La gestione delle aree costiere in Puglia è,

ABSTRACT

The problem of coastal erosion affects dramatically the Apulia region (Italy). For the last fifty years the coastal strip of Manfredonia Gulf has undergone an evident retreat due to human activities. In response to this retreat almost 300 coastal defense works have been built up. In this paper we summarize the recent evolution of Manfredonia Gulf coastline emphasizing the role of coastal defenses. Moreover a first attempt of ground laser scanner monitoring of the defenses is presented. Our conclusion about the coastal defenses is that the response strategy to the problem of erosion has been losing because of three reasons: 1) lack of interventions coordination, 2) scarce knowledge of the local coastal dynamics and 3) null maintenance of the works. The preliminary results of laser scanning survey have given useful information to plan a widespread monitoring of the apulian coastal defenses. Apulia Regional Government has recently accomplished a program of coastline monitoring. We show here how collected and collecting data will be useful to assess the response of the coastal defenses to the local wave climate and therefore to improve their planning.

KEY WORDS: *laser scanner, coastal defenses, Manfredonia Gulf, Apulia (Italy)*

INTRODUCTION

Apulia stretches out in the Mediterranean between the Adriatic and the Ionian seas. The whole coastline, about 793 km long, consists of 38% of beaches, 57% of rocky coasts and 5% of urbanized areas (AA. VARI, 1992).

A general coastal retreat affects almost all the beaches (CALDARA *et alii*, 1998) because of Holocene sea level rise, low coastlands subsidence and diminished fluvial turbid discharge due to the large number of dams built during last decades. Another factor is the frequency of sea storms that accelerates the retreat. That is why the Apulian coastal management and shore protection has become a serious problem. Nowadays along the Apulian coasts there are 395 coastal defenses among which 296 are set in the Manfredonia gulf, in a stretch extending only 21 km.

dunque, intimamente legata alla protezione delle spiagge: il tutto rappresenta certamente uno dei problemi ambientali più seri della regione. Ad oggi lungo le coste pugliesi ci sono 395 opere di difesa costiera, delle quali 296 nel solo Golfo di Manfredonia ed in un tratto di soli 21 km.

Le soluzioni finora adottate per contrastare questo grave fenomeno sono risultate inadeguate vuoi per la scarsa conoscenza delle dinamiche costiere vuoi per la totale mancanza di coordinamento degli interventi. Solo di recente, grazie a fondi stanziati dall'UE, s'è potuto avviare un progetto di difesa del suolo all'interno del quale sono previste azioni di *monitoraggio fisico degli interventi di difesa delle coste già finanziati e realizzati* ed insieme azioni volte al *miglioramento delle conoscenze di base del sistema costiero*.

Questi obiettivi sono quelli discussi nel presente lavoro: si è cercato di offrire una base per cominciare ad affrontare il problema della gestione delle coste, in modo da dare organicità alla programmazione ed evitare le improvvisazioni che fino ad oggi hanno caratterizzato i precedenti interventi.

Le azioni di monitoraggio sono state e saranno diversificate in base al tipo di costa. Per quanto riguarda le spiagge le azioni previste sono: rilievi aerofotogrammetrici, topografici, batimetrici, geomorfologici e sedimentologici. Inoltre verranno installate nuove stazioni di registrazione di dati anemometrici, areografici e ondametrici. Verranno, inoltre, utilizzati ecoscandagli multi-beam e single-beam, side scan sonar, sub bottom profiler, GPS differenziale e web cam.

In questo articolo sono presentate le principali problematiche relative alla costa del Golfo di Manfredonia ed i risultati preliminari dei primi rilievi con laser scanner terrestre allo scopo di valutare vantaggi e svantaggi sia dello strumento che della tecnica di rilievo.

INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La fascia costiera che si estende per circa 60 km tra Barletta e Manfredonia rappresenta la parte terminale del Tavoliere di Puglia, il quale si allarga verso l'interno per quasi 50 km e fino ad una quota di oltre 400 m (Figura 1). La pianura è caratterizzata da una serie di depositi marini terrazzati, sedimentatisi durante il Pleistocene a causa dell'interazione tra il sollevamento tettonico dell'area e le ripetute oscillazioni del mare. In totale, tra le quote 350 e 5, sono stati individuati 8 di questi depositi, i quali sono separati da scarpate ancora in parte riconoscibili (CALDARA & PENNETTA, 1991).

Il fondale del Golfo di Manfredonia presenta una pendenza minore dal momento che l'isobata 120 si trova a oltre 80 km dalla costa. Comunque sia anche nel tratto sommerso sono state individuate 4 superfici di spianamento, analoghe alle precedenti ed alloggiate tra le isobate 15 e 120 (FABBRI & GALLIGNANI, 1972).

La piana è attraversata da 4 corsi d'acqua: i torrenti Candelaro, Cervaro e Carapelle ed il fiume Ofanto, che hanno in parte obliterato la precedente morfologia con le loro alluvioni. Tra tutti, quello di gran lunga più importante è l'Ofanto, il quale, con una lunghezza di quasi 170 km e un bacino di 2700 km², è il principale elemento di

However, the solutions adopted so far have been inadequate in most cases, because of a scarce knowledge of the coastal dynamics and the absence of an appropriate coordination of the interventions. Therefore the Apulia Regional Government, thanks to EU funds, conceived a project called "Monitoraggio degli interventi di difesa costiera e dell'evoluzione dei litorali" ("Coastal defense interventions and littoral evolution monitoring"). The aim of this project is to investigate thoroughly the local coastal dynamics so as to provide a sound base for tackling the problem of the coastal management. This is a way to give organic coordination to the interventions avoiding the improvisations of the past.

The monitoring operations will be diversified on the base of the different kind of coast. For the the sand beaches the planned actions are: aerophotogrammetric, topographic, bathymetric, geomorphologic and sedimentological surveys. New stations will be set to record anemometric, mareographic and wave data. Beside to traditional surveying techniques, will be used devices such as multi-beam and single-beam echo-sounder, side scan sonar, sub bottom profiler, RTK cinematic/differential GPS and web-cam.

In this paper the problems of Manfredonia Gulf shoreline will be presented and also the preliminary results of the first laser scanner surveys in order to evaluate advantages and drawbacks of both the instrument and the technique.

GEOMORPHOLOGIC SETTING OF THE STUDY AREA

The coastal strip stretching for about 60 km between Barletta and Manfredonia is the border region of Tavoliere di Puglia, which widens towards inland for about 50 km and up to 400 m of altitude (Figure 1). The plain is characterized by some terraced surfaces, formed during the Pleistocene owing to interaction between the tectonic uplift of the area and the repeated sea level fluctuations. Eight of these surfaces, which are bordered by still partly recognizable scarps, have been picked out between the altitudes of 350 and 5 meters above sea level (CALDARA & PENNETTA, 1991).

The bottom of Manfredonia Gulf has a lower steepness, in fact the isobath 120 stands at over 80 km from the coastline; moreover four terraced surfaces similar to the former ones have been recognized between the isobaths 15 and 120 m (FABBRI & GALLIGNANI, 1972).

The coastal plain is crossed by four watercourses: Candelaro torrent, Cervaro torrent, Carapelle torrent and Ofanto river. These have partly hidden the former morphology with their alluvial deposits. Ofanto river, with 170 km of length and 2700 km² of basin area, is

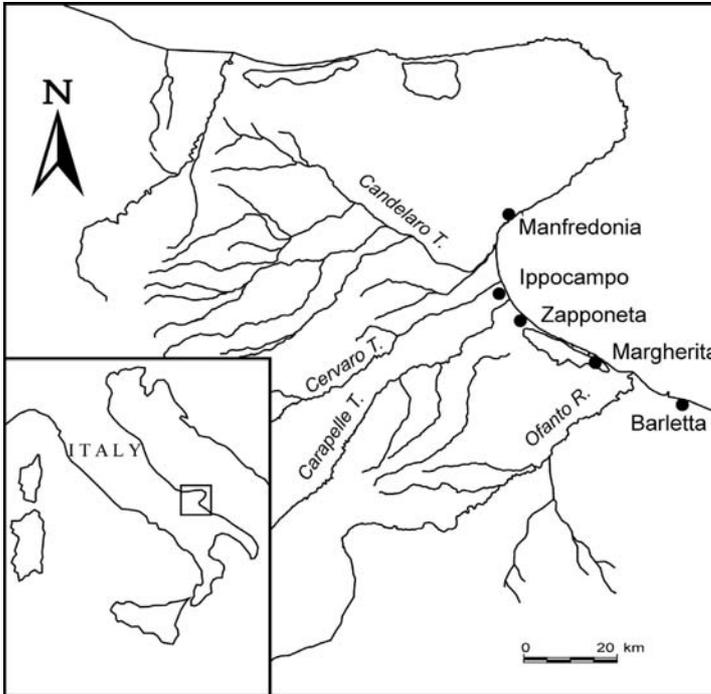


Fig. 1 - Area di studio
- Study area

controllo della dinamica del tratto di costa studiato.

L'area ha assunto l'attuale aspetto con il sollevamento marino olocenico, al quale è legata un'intensa fase di sedimentazione, in seguito alla quale si è formato un ampio cordone dunare che, a sua volta, ha dato origine ad una vasta laguna costiera. Questa è stata ben presto isolata dal mare ed ha subito un rapido interrimento da parte dei fiumi locali. Si è quindi formata una serie di paludi, stagni e laghi costieri, la cui permanenza è stata favorita dalla subsidenza per costipamento dei depositi stessi e dal sollevamento del livello del mare (CALDARA & PENNETTA, 1993; CALDARA *et alii*, 2000).

Per far fronte alla crescente domanda di terre coltivabili come pure alla necessità di rendere salubri e accessibili aree malsane per l'uomo, sono stati realizzati negli ultimi due secoli notevoli interventi di bonifica per colmata deviando il Candalaria e il Cervaro e canalizzando in parte il Carapelle e l'Ofanto.

In questa maniera sono state seppellite quasi tutte le aree umide e parte del cordone dunare più antico, quello neolitico. Negli ultimi tempi le dune più recenti sono state spianate per far posto ad ulteriori aree coltivabili. Gli unici testimoni dell'antica laguna costiera rimangono la palude Frattarolo posta all'estremità settentrionale, e, verso sud, l'ex lago di Salpi, oggi sfruttato come bacino di evaporazione per la produzione del sale (CALDARA *et alii*, 2002).

Per quanto riguarda gli aspetti meteorologici dell'area si può dire che i venti soffiano con maggior frequenza da NNO e da SSE; in particolare i venti con intensità inferiore a 8.2 m/s conservano la stessa distribuzione, mentre i venti superiori a questa soglia hanno provenienze più disperse. Anche per le onde la provenienza ha una distri-

the main geomorphological control feature for the dynamics of this coastline.

The area reached its actual setting following on the sea level rise during the Holocene, which led to an intense sedimentation phase; the development of a wide dune belt gave origin to a coastal lagoon. This lagoon was soon separated from the sea and underwent a quick filling up by the local streams. A number of marshes, ponds and coastal lakes had formed, whose persistence was favoured by the ground ramming subsidence and by the sea level rise (CALDARA & PENNETTA, 1993; CALDARA *et alii*, 2000).

To cope with the increasing demand of arable lands and with the necessity to make unhealthy areas accessible to humans, some reclaims were accomplished by diverting the Candalaria and the Cervaro and by canalising partly the Carapelle and the Ofanto.

In such a way almost all the wetlands and a part of the oldest dune belt (the Neolithic one) were buried. During the last two centuries the more recent dunes were gradually levelled to make room to further arable lands. The only witnesses of the ancient lagoon are the Frattarolo marsh, on the northern end, and the former Salpi lake, now used as an evaporation basin for salt production (CALDARA *et alii*, 2002).

The hydrodynamic and meteorological conditions are characterized by winds that blow more frequently from NNW and SSE; in particular winds with a speed lower than 8.2 m/s maintain the same spatial provenance, while the winds with higher speed have several other provenances. The same argument is valid for the waves (SIMEONI, 1992). As to the marine currents, the area is involved by

buzione coincidente con quella dei venti (SIMEONI, 1992). Per quanto riguarda le correnti marine il paraggio è interessato dal ramo discendente del flusso adriatico; questo ramo, dovendo superare il promontorio del Gargano, passa al largo delle coste del Golfo di Manfredonia. All'altezza della foce dell'Ofanto da questo ramo si diparte un controflusso che risale il Golfo di Manfredonia da SE a NO (CALDARA *et alii*, 1998). In definitiva lungo questo tratto di costa si può individuare una corrente di deriva litorale principale diretta a NO ed una secondaria diretta a SE.

EVOLUZIONE RECENTE DELLA LINEA DI RIVA

L'impatto dell'uomo sulla dinamica costiera locale è stato via via crescente dal XVIII secolo in poi. In particolare negli ultimi 50 anni il forte impulso alla crescita economica legato alla ricostruzione post-bellica hanno reso particolarmente intensa la pressione antropica sulla fascia sipontina. La dinamica litorale locale ne è stata così sconvolta che la tendenza all'avanzamento della costa si è invertita creando seri problemi ambientali ed economici insieme.

Il fenomeno è stato studiato (Figura 2) partendo da studi precedenti (AA. VARI, 2000; MARACCHIONE, 2003) ed evidenziando l'evoluzione spazio-temporale della linea di costa tramite la cartografia ufficiale (1872, 1898, 1931 and 1954) e le più recenti foto aeree (1984, 1997 AGEA, 1999 AGEA, 2000 AGEA, 2001 Comune di Zapponeta, 2002 Comune di Margherita di Savoia).

Tra il 1872 e il 1954 si osserva un progressivo avanzamento nel paraggio dell'abitato di Margherita di Savoia grazie alla corrente lungocosta, che ridistribuisce verso NO il materiale proveniente dal fiume Ofanto. Il delta cuspidato della foce del fiume, proteso in mare

the descending part of the Adriatic flow; this branch, owing to the Gargano promontory, passes far from the gulf coastline; on a line with Ofanto mouth a secondary branch starts from the main one moving along the gulf coastline from SE to NW (CALDARA *et alii*, 1998). Therefore we can recognize a main longshore drift current going to NW and a minor one going to SE.

RECENT EVOLUTION OF THE SHORELINE

The human impact on the study area dynamics has been increasing for the last two centuries. Especially in the last 50 years the population increase and the strong impulse to the economic growth, owing to the post-war reconstruction, have been the main causes of the intense anthropic pressure on the stretch of coast under examination. The local coastal dynamics has been so devastated that the coastal advancement trend has reversed causing serious problems to the local economy.

We have analysed this phenomenon (Figura 2) integrating previous studies (AA. VARI, 2000; MARACCHIONE, 2003), comparing the spatial and temporal evolution of the shoreline using the Italian official cartography (1872, 1898, 1931 and 1954) and the more recent air-photos (1984, 1997 AGEA, 1999 AGEA, 2000 AGEA, 2001 Zapponeta Municipality, 2002 Margherita di Savoia Municipality).

Between the 1872 and the 1954 an increasing advancement can be noticed at north of Margherita owing to the longshore current carrying the sediment of the Ofanto river towards North-West. The cus-

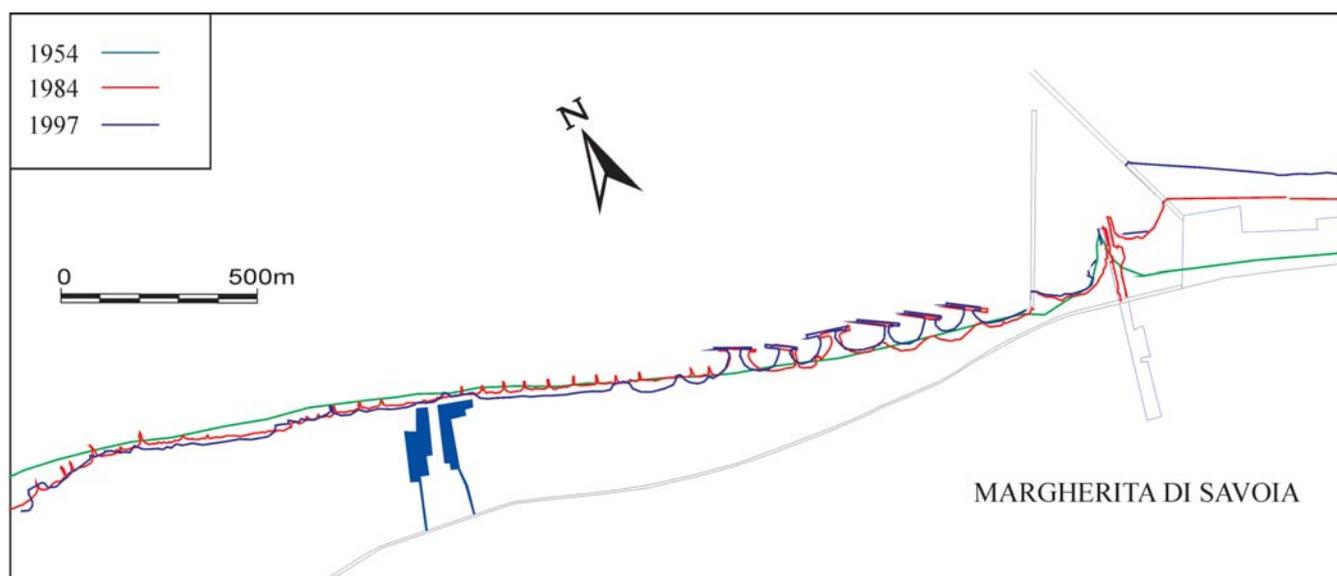


Fig. 2 - Variazioni della linea di riva causate dal porto di Margherita di Savoia (REGIONE PUGLIA, 2000, modificato)
 - Coastline changes caused by Margherita di Savoia harbour (modified from REGIONE PUGLIA, 2000)

per oltre 1 km, si mantiene a lungo stabile. Presso Barletta si verifica un avanzamento della linea di costa a causa dell'ampliamento del porto nel 1889; il fenomeno si osserva in particolare a ridosso del molo meridionale. Agli inizi degli anni '50 anche il Comune di Margherita di Savoia costruisce i suoi moli che ostacolano la corrente litoranea, causando un netto avanzamento della spiaggia sul lato sud e innescando l'erosione sul lato nord.

Nel periodo 1954-2002 si manifesta una netta inversione di tendenza rispetto alla fase precedente. Il delta dell'Ofanto mostra un notevole arretramento tanto che l'intera cuspide risulta appiattita e la foce, fortemente allargata, ricorda quella di un estuario. A ridosso del molo sud del porto di Margherita (notevolmente ampliato negli anni 70) la spiaggia avanza di alcune centinaia di metri tanto che l'abitato ne occupa subito una parte; per contro a nord del porto un tratto di quasi 20 km è interessato da un'intensa erosione. Similmente l'arenile del lato nord del porto di Barletta raggiunge la sua massima estensione (anche grazie al materiale eroso dalla foce dell'Ofanto) con un'ampiezza di alcune centinaia di metri e una lunghezza di alcuni km. Successivamente, a partire dagli anni 70, anche in questo tratto, la tendenza si inverte di modo che la strada litoranea da Barletta alla foce dell'Ofanto viene progressivamente smantellata. Infine, un'analogia sorte è toccata negli ultimi anni anche alla spiaggia formata a ridosso del molo sud del porto di Barletta.

È evidente che la prima causa da invocare per spiegare questo fenomeno è la diminuzione dell'apporto solido dell'Ofanto imposto da due elementi principali: la costruzione di numerose dighe lungo il fiume e i suoi affluenti e l'eccessivo prelievo di inerti lungo l'alveo (Figura 3). La realizzazione di invasi è cominciata dai primi anni 50 (Table 1) con lo scopo di raccogliere acqua da destinare ad usi irri-

Invasi <i>Reservoir</i>	Capacità (10^6 m^3) <i>Capacity (10^6 m^3)</i>	Inizio lavori <i>Beginned</i>	Fine lavori <i>Completed</i>
Capacciotti	46	1970	1979
Osento	14.5	1960	1970
Locone	105.3	1982	1986
Rendina	21.8	1952	1957
Conza	63	1974	1985

gui, industriali e potabili.

Questi invasi hanno influito in due modi sul trasporto solido del fiume: bloccando i sedimenti e facendo diminuire gli eventi di piena. Il prelievo indiscriminato di inerti lungo l'alveo, principalmente nel tratto vallivo, è stato favorito dall'economicità dei sistemi di estrazione e dai canoni di concessione eccessivamente bassi. Secondo una ricerca effettuata dall'Autorità di Bacino pugliese, nel 1986 erano presenti venti impianti di lavorazione degli inerti con una potenzialità estrattiva annua di 2546000 m^3 , anche se le concessioni rilasciate dal Genio Civile (periodo 1976-1983) consentivano il prelievo di soli 390060 m^3 .

La conseguenza di tutto ciò è che il trasporto solido annuo

pidate delta of the mouth of the Ofanto river, that advances in the sea more than 1 Km, is quite stable. Near Barletta, the shore line advances because of the harbour enlargement in the 1889; a quite similar phenomenon occurs by the southern pier. In the early fifties the Margherita municipality built a pier obstructing the longshore current, causing a definite advancement on the south side and triggering erosion on the north one.

Between 1954-2002 there was a clear reverse trend with respect to the previous phase. The Ofanto delta shows a remarkable retreat so that the whole cusp seems levelled and the mouth, quite widened, reminds of that of an estuary. By the southern pier of the Margherita harbour (greatly widened in the seventies) the shore has moved forward some hundreds of metres so that the built-up area has soon occupied a part of it; as a consequence in the northern area of the harbour almost 20 kilometres have been affected by an intense erosion. In the northern area of the Barletta harbour the beach reaches its maximum extension (also due to the stuff eroded by the Ofanto mouth) wide some hundreds meters and with a length of some kilometres. Starting from the seventies the trend has been the opposite even in this area, so that the coastal road from Barletta to the Ofanto mouth has been gradually destroyed; over the last years the same thing has happened to the beach near the southern pier of the Barletta harbour.

The first element to explain this unbalance is the decrease of the Ofanto turbid discharge whose main causes are above all the building of dams and barriers along the river and its affluents but also the immoderate stuff digging along the river bed (Figure 3).

The dams building started in the early fifties (Table 1) in order to gather water destined for irrigation and industrial and drinking uses.

Tab. 1 - Principali invasi realizzati lungo il fiume Ofanto a partire dagli anni '50
- *The main dams in the Ofanto basin area*

These dams have affected the river turbid discharge in two ways: firstly stopping the sediments downstream and secondly causing the floods to decrease and consequently the bigger part of downstream sedimentation.

The economic quarrying systems and the low licences fees have favoured the stuff digging along the river bed, above all in the valley area. A research realized by the Apulian River Authority, shows that in the 1986 there were twenty quarrying systems extracting 2546000 m^3 every year, but the total licences given between 1976 and 1983 were of only 390060 m^3 .

The main consequence of all previously mentioned is that the Ofanto annual turbid discharge, while until the middle of the fifties

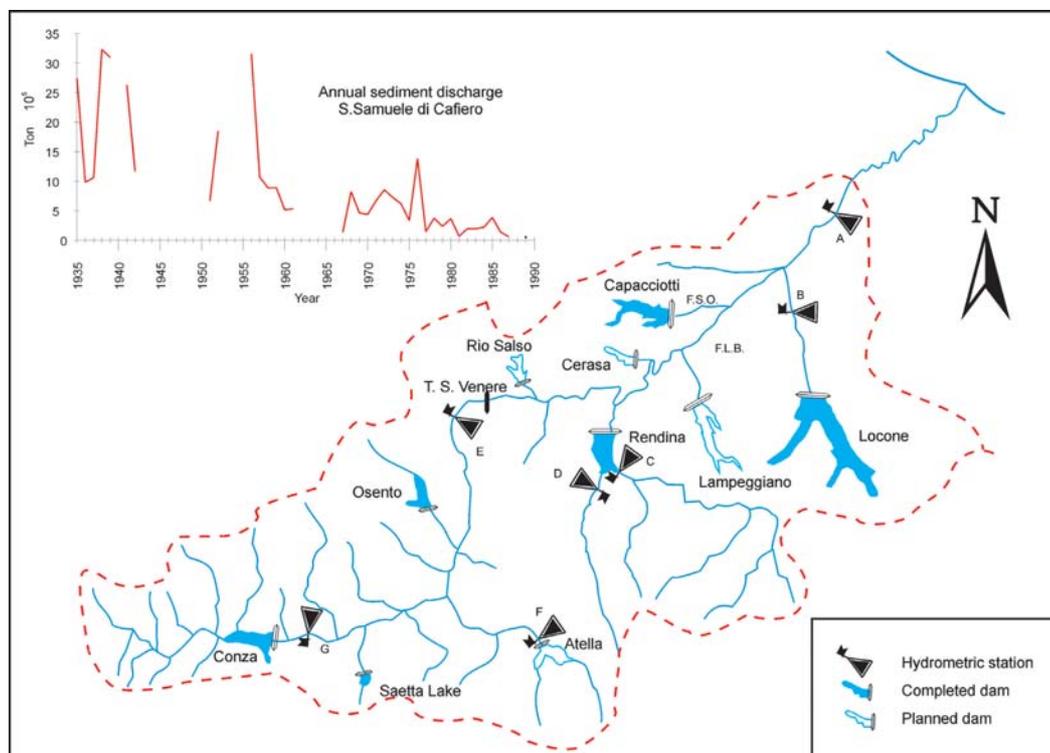


Fig. 3 - Bacino del F. Ofanto
- Ofanto basin

dell'Ofanto, che fino alla metà degli anni '50 ammontava in media a oltre 2 milioni di tonnellate, è sceso al di sotto di 1 milione a metà degli anni '70 per attestarsi intorno a 0.2 milioni di tonnellate nei primi anni '90 (AA. VARI, 2000).

Un altro importante elemento che ha contribuito all'alterazione degli equilibri costieri è rappresentato dalla costruzione dei porti di Barletta e Margherita di Savoia. Il sedimento trasportato dalle correnti lungocosta, a causa della deviazione imposta dalla presenza dei moli, è stato in parte bloccato a ridosso dei porti ed in parte disperso al largo. Non va dimenticato, infine, lo spianamento delle dune costiere, completato negli anni 60, col quale è stata sottratta un'importante riserva di sedimento alle spiagge.

INTERVENTI DI DIFESA COSTIERA

Numerosi e variegati interventi di difesa sono stati effettuati per arginare il problema dell'erosione costiera, ma i risultati sono stati inferiori alle attese. Andremo ora ad analizzare questi interventi in base ai diversi tipi di opere realizzati.

FRANGIFLUTTI

Dopo l'ampliamento del porto di Margherita di Savoia (fine anni '70) si verificò una rapidissima erosione subito a nord del porto stesso causata dal mancato apporto di sedimenti da SE. Per ovviare a questo problema furono costruite tre barriere frangiflutti parallele alla linea di riva a ridosso del molo settentrionale; poiché il problema non fu risolto se ne costruirono altre tre con disposizione obliqua rispetto alla

was an average of more than 2 millions of tons, was less than 1 million in the middle seventies and in the early nineties about 0.2 millions of tons (AA. VARI, 2000).

The other decisive factor of the alteration of the coastal area balances is the building of the Barletta and Margherita harbours. In such a way the sediment carried away by the longshore currents has been partly stopped by the harbours themselves and partly wasted offshore because of the deviation imposed on currents by the piers.

Finally it has to be quoted the coastal dunes levelling, ended in the sixties, whose consequence has been the removal of an important reserve of sediment from the beaches.

COASTAL DEFENCE INTERVENTIONS

Several defense interventions had been realized to control the coastal erosion, but the results not came up to expectations. Now we are going to analyze these interventions according to their type.

BREAKWATERS

After the widening of Margherita harbour in the late seventies, a sudden erosion took place on the north side of the harbour, due to the prevention of the sediments arriving from SE. To get around to this problem three breakwater barriers were built up near the northern pier; since the problem was not solved other three breakwaters were built. The final result has been to stop erosion of the

costa. Il risultato finale è stato quello di bloccare l'erosione nel tratto in esame e di spostarla più a nord; la spiaggia ha assunto un andamento irregolare ed infine al piede delle opere sul lato a mare la profondità del fondale è aumentata a causa delle onde riflesse (Figura 4).

sheltered stretch shifting it northward; the beach has followed an irregular development and finally the depth of the sea-bottom has increased at the toe of the breakwaters owing to the reflected waves (Figure 4).

Fig. 4 - Frangiflutti in prossimità del porto di Margherita
- Breakwaters near the Margherita harbour



DIFESE RADENTI

Queste opere, che si sviluppano lungo la fascia costiera per quasi 29 km, sono di diverso tipo: scogliere, gabbionate semplici o multiple, terrapieni semplici o con gabbionata al nucleo. Si tratta di tipici interventi di emergenza realizzati all'indomani di mareggiate particolarmente distruttive e senza seguire criteri costruttivi opportuni. Di solito sono realizzate alcuni metri dietro la linea di riva, ma la rapida erosione le porta in breve tempo sotto il diretto effetto delle onde rendendole instabili (scalzamento al piede, sifonamento) e quindi soggette a rapido degrado. Laddove queste opere sono più resistenti fissano per qualche tempo la linea di costa spostando però l'erosione verso zone non protette (Figura 5).

SHORE PARALLEL DEFENSES

These works cover about 29 kilometers of the whole Manfredonia gulf shoreline; there are several kinds of them: simple gabions, multiple gabions, simple revetments, gabion-core revetments, rip-raps. These typical emergency measures are accomplished after hard stormy events and without following proper building techniques. Usually they are built some meters onshore, but the fast erosion put them quickly under the wave direct effects, so that they become unstable (toe erosion, piping) and prone to rapid deterioration. Where the works are stonger the coastline is fixed for a while, but the erosion accelerates down-drift (Figure 5).



Fig. 5 - Gabbionate sottoposte all'azione delle onde
- Gabions under wave action

PENNELLI

I pennelli sono la difesa più utilizzata nell'area; se ne contano, infatti, ben 287 (Figura 6). La loro costruzione è iniziata verso la fine degli anni 70, con l'acuirsi del problema dell'erosione a nord del porto di Margherita, e continua ancora oggi con l'estensione dell'erosione verso Manfredonia (dovuta in parte anche alle difese stesse). Tuttavia i pennelli attualmente presenti sul litorale sono stati costruiti, quasi tutti, dopo il 1990 sia per coprire zone ancora non protette sia per sostituire quelli che erano stati smantellati dal mare (Figura 7) a riprova non solo dell'intensità del fenomeno erosivo ma anche dell'inadeguatezza delle soluzioni adottate.

Tra Margherita di Savoia e Zapponeta si contano 223 pennelli rettilinei. Le loro distanze e l'interasse sono spesso irregolari e si nota facilmente come la loro posizione sia influenzata dalla presenza di case e strutture turistiche. Di solito la distanza tra i pennelli risulta eccessiva rispetto a quella ottimale tanto che l'erosione non solo si è accentuata nelle aree non protette ma ha continuato a colpire anche il tratto protetto. Per i pennelli più corti il problema è ancora più evidente, perchè a causa dell'esigua lunghezza dei singoli elementi l'energia delle onde in arrivo non risulta adeguatamente atte-

GROYNES

Groynes are 287 and are the most used type of coastal defense in this area (Figure 6). Their construction has begun at the end of seventies with the worsening of the problem of coastal erosion at north of Margherita harbour and still continues owing to the extension of erosion towards Manfredonia (also due to the defenses). Almost all the actual groynes were built after 1990 either to cover still unprotected zones or to replace those demolished by the sea (Figure 7). This is to prove not only the intensity of coastal erosion, but also the inadequacy of adopted solutions.

There are 223 rectilinear groynes between Margherita and Zapponeta. Their length and their spacing are often uneven and is easy to note as their position is influenced by the presence of houses and touristic structures. Usually the real distance between groynes exceeds the advisable one, so that the erosion not only increases on unprotected areas but also continues to strike the covered ones. The problem is more evident where the groynes are shorter, in fact the wave energy is not adequately mitigated arriving onshore with entire erosive strenght; in this case often the groynes are detached from the beach so that new defenses construction



Fig. 6 - Campi di pennelli nei dintorni di Zapponeta
- Groyne fields near Zapponeta

Fig. 7 - Pennelli di recente costruzione e ruderi di quelli vecchi
- *Recent groynes and remains of the former ones*



Fig. 8 - Pennelli a T realizzati per correggere l'eccessiva distanza tra i pennelli preesistenti
- *T-shaped groynes built to rectify the excessive spacing between some existing groynes*

nuata. Esse giungono a riva con intatta capacità erosiva tanto da scoprire la radice dei pennelli stessi, che restano isolati rispetto alla spiaggia, e tanto da rendere necessaria la costruzione di difese aderenti d'emergenza (oltre che il ripristino degli elementi danneggiati).

I pennelli a uncino sono 57. Si estendono da sud di Zapponeta fin quasi al villaggio turistico "Ippocampo" e sono costruiti con il lato concavo rivolto verso nord. Anche in questo caso la posizione dei pennelli è stata influenzata da esigenze locali, ma a differenza degli altri due gruppi l'erosione è stata effettivamente bloccata e si è avuto anche un modesto ripascimento sul lato concavo. I pennelli a "T" sono 7 e sono ubicati su un tratto di litorale lungo poco meno di 1 km fra Margherita e Zapponeta (Figura 8); sono stati disposti in alternanza ad un gruppo di pennelli rettilinei i quali, a causa dell'eccessivo interasse, non avevano adeguatamente fermato l'erosione. I nuovi pennelli hanno bloccato l'erosione e favorito un modesto ripascimento, ma mostrano i primi segni di degrado pur essendo stati costruiti da meno di due anni.

become necessary (in addition to the restoration of the existing ones).

There are also 57 hook-shaped groynes on a stretch going from south Zapponeta northward to "Ippocampo" tourist village. They are built with the concave side turned at north and also in this case the position has been influenced by local requirements (houses, tourist infrastructures, cultivated lands, etc.); unlike the previous type these groynes have blocked the erosion and fostered a little nourishment.

Finally there are 7 T-shaped groynes sited on a tract about 1 km long between Margherita and Zapponeta (Figure 8). They are alternated with a group of rectilinear groynes which, owing the excessive spacing did not stop the erosion. The new groynes have blocked the erosion and started a little nourishment, but they already show some signs of deterioration in spite of the relative recent construction (2 years).

RILIEVI DI PROVA CON LASER SCANNER

Fra le attività previste dal progetto di monitoraggio c'è il rilievo laser scanner delle difese costiere. Poiché un monitoraggio richiede tempi lunghi e la raccolta dei dati è ancora in corso, in questa sede verranno espresse alcune considerazioni derivanti dai rilievi-test preliminari effettuati con lo strumento.

L'area in cui sono state effettuate le prove è il litorale della città di Zapponeta (Figura 1), lungo il quale sono presenti difese di vario tipo (pennelli rettilinei, pennelli ad uncino, pennelli a "T", gabbionate). La tecnica del laser scanning è un nuovo metodo per digitalizzare oggetti o porzioni di territorio. Essa è basata sul metodo di misurazione delle distanze tramite onde elettromagnetiche (LIDAR - light detection and ranging). I principali campi di applicazione di questa tecnica sono la topografia (ponti, strade, impianti industriali), il rilievo architettonico (chiese, palazzi storici, monumenti) e l'archeologia (rilievo di siti e manufatti). Scarsi sono gli esempi di utilizzo nel campo delle scienze della terra (HUNTER *et alii*, 2003).

Lo strumento emette un impulso laser che colpisce l'oggetto ed in parte viene riflesso verso lo scanner dove è raccolto da un sensore. La distanza tra la superficie riflettente e lo scanner è calcolata misurando il tempo di volo dell'impulso. Questa operazione, ripetuta migliaia di volte al secondo in direzioni diverse, permette di rilevare in tempo reale e con precisione millimetrica una "nuvola di punti" dalla quale sarà possibile ricavare un modello tridimensionale ad alta precisione dell'oggetto in esame (BOEHLER & MARBS, 2002; BOEHLER *et alii*, 2002, BOEHLER *et alii*, 2003).

Il dispositivo da noi utilizzato è il Leica HDS3000 che può battere 2000 punti al secondo; l'errore massimo previsto è di 6 mm sulla posizione del singolo punto fino ad una distanza di 100 m. Il rilievo si divide in due fasi: acquisizione dei dati in campagna e successiva loro elaborazione. Durante la prima fase bisogna innanzitutto indivi-

LASER SCANNER SURVEY TEST

One of the planned activities of the Apulia government project is to test the laser scanner technology for regular survey of the coastal defenses.

Since the monitoring requests long time and the data collection is still in progress, in this section we present some considerations coming from the preliminary test-surveys carried out with the instrument. The test area is the Zapponeta littoral (Fig. 1), on which there are several types of defenses (rectilinear groynes, hook-shaped groynes, T-shaped groynes, gabions).

The laser scanning technique is a new method to digitize objects and parts of territories; it is based on measuring distances by electromagnetic waves (LIDAR - light detection and ranging). The main fields of application are engineering (survey of bridges, roads, industrial structures etc.), architecture (survey of churches, monuments, historical buildings) and archaeology (survey of sites and finds). We have few examples of studies in the field of earth sciences (e.g.: HUNTER *et alii*, 2003).

The instrument sends a laser beam that hits the object and partly returns to the scanner sensor; the distance between the object surface and the scanner is computed by measuring the time of fly of the beam. This task, repeated thousands of times per second along different directions, allows to survey in real time and with millimeter precision a "point cloud", from which a 3D model is obtained (BOEHLER & MARBS, 2002; BOEHLER *et alii*, 2002, BOEHLER *et alii*, 2003).

The instrument used is a Leica HDS3000; it can hit 2000 points per second with a maximum error of 6 millimeters on the single point position as far as 100 meters.

The survey work has consisted of two phases: field data collection and data processing.

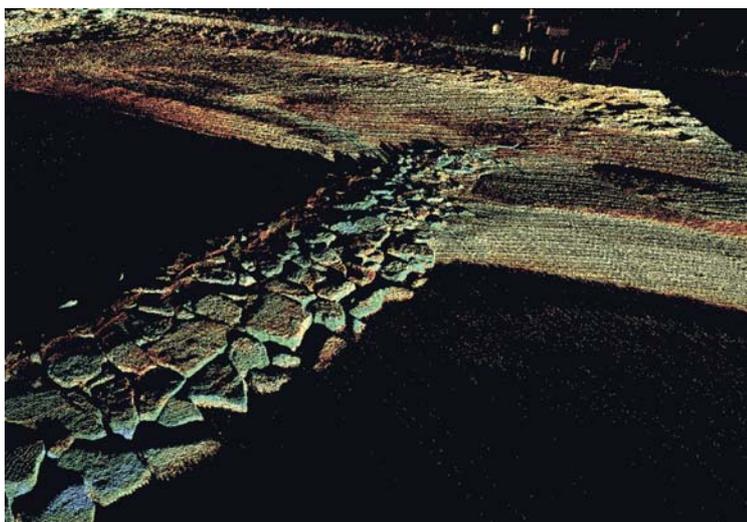
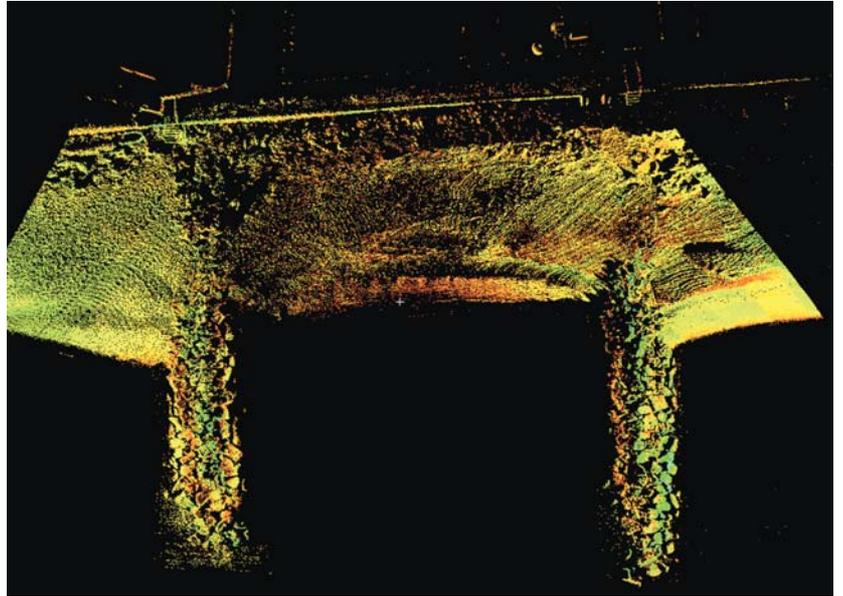


Fig. 9 - Rilievo laser di un pennello rettilineo e della spiaggia adiacente
- Laser scanning survey of a rectilinear groyne and adjacent beach

Fig. 10 - Sovrapposizione di due nuvole di punti
 - *Overlapping of two point clouds*



duare alcuni capisaldi di controllo (almeno 4) che sono, quindi, opportunamente marcati. Successivamente si effettuano le scansioni da diversi punti di stazione in modo da ottenere una copertura quanto più possibile completa dell'area da rilevare (Figure 9, 10). La densità dei punti da raccogliere è scelta dall'utente impostando una griglia di campionamento (nel nostro caso 10 cm a 50 m). La posizione delle scansioni deve essere scelta in modo da includere anche i 4 capisaldi di controllo. Questi ultimi sono stati fissati con l'ausilio di GPS differenziale in modo statico per 30 minuti (1 conteggio/sec). La loro presenza è indispensabile per georeferenziare le nuvole di punti e rendere quindi possibile il successivo confronto tra modelli 3D ricavati da scansioni differenti ed in momenti differenti.

Nella seconda fase di lavoro si provvede a sovrapporre le diverse nuvole di punti tramite il software *Cyclon* (Figura 11). Infine, se necessario, dall'insieme delle nuvole sono eliminati i punti palesemente errati e indesiderati. Con quelli rilevati si elabora un DEM da cui si possono estrarre i dati voluti: lunghezze, superfici, volumi,

In the first phase we have located some tie points (four at least) that are materialized by special markers. Then a number of scans was carried out from different points of view so as to obtain a complete coverage of the surveyed area (Figure 9, 10). We have chosen the density of the point cloud by setting up a square sampling grid of 10 centimeters at 50 meters. The position of the scans has been chosen to include at least four tie points for each scan. For the aims of our study each tie point position has been surveyed by a Differential GPS in static mode for 30 minutes (1 count/sec); this operation was necessary to georeference the point clouds and to make possible the comparison between the obtained 3D models from different scans and for different periods.

In the second phase different point clouds were linked through the tie points, using the software *Cyclone 5.1* (Figure 11). Then the coordinates taken by the GPS were assigned to the respective tie point to georeference the entire point cloud of the area. At last, if necessary, undesired points has been removed. Once the DEM is obtained from

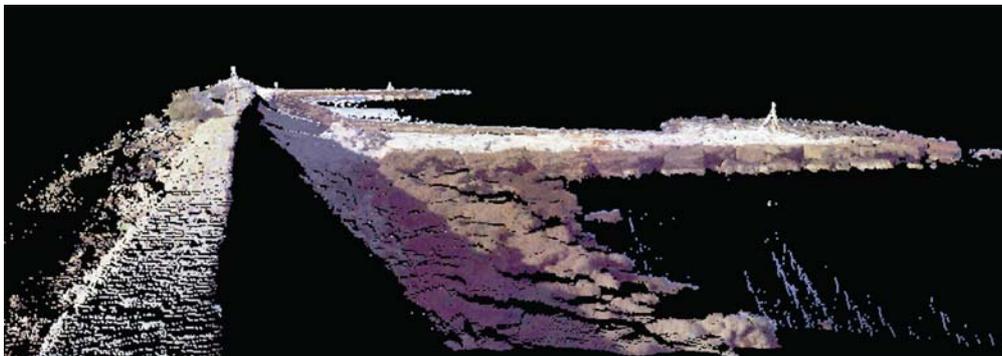


Fig. 11 - Rilievo laser di pennelli ad uncino
 - *Laser scanner survey of hook-shaped groynes*

pendenze, isoipse, ecc..

Fin d'ora in relazione ai rilievi effettuati si può tracciare un quadro preciso dei vantaggi e degli svantaggi che lo strumento e la metodologia offrono.

Vantaggi

Innanzitutto va citata la velocità del rilievo, che è effettuato in pochi minuti (in rapporto al passo di campionamento impostato dall'utente) e con un campo di vista molto ampio (360° in orizzontale e 270° in verticale); ciò minimizza, in definitiva, gli spostamenti dello strumento. Un altro aspetto interessante è rappresentato dalla grande quantità di punti rilevati. È chiaro che, se maggiore è il numero di punti ripresi, migliore sarà la simulazione della superficie reale. Nell'insieme saranno ridotte al minimo le interpolazioni, conferendo ai calcoli ed alle interpretazioni una maggiore aderenza alla realtà. Sarà possibile, inoltre, rilevare con estremo dettaglio anche superfici irregolari. Per ultimo non va trascurata la precisione millimetrica con cui sono tracciati modelli molto accurati, su cui è possibile effettuare ogni tipo di misura evitando di farlo in campagna.

Svantaggi

Lo strumento è molto delicato e va maneggiato con estrema cura; qualunque avaria o danno accidentale comporta la perdita di alcune settimane di lavoro. Per di più l'attrezzatura è piuttosto ingombrante: ciò richiede l'impiego di almeno tre operatori per il trasporto, per la messa in opera e per spostamenti sufficientemente celeri nell'ambito del sito da rilevare.

Si dipende, ancora, dalle condizioni meteo: in caso di pioggia lo strumento è inutilizzabile sia per il fatto che le gocce sui vetri di copertura devierebbero i segnali laser in uscita e in entrata sia per possibili infiltrazioni che danneggerebbero i delicati meccanismi interni. Lo stesso discorso vale in caso di nebbia in quanto l'umidità assorbirebbe quasi tutto il segnale incidendo drasticamente sulle prestazioni dello strumento.

Un altro problema è creato dalla superficie del mare che genera punti indesiderati nella nuvola. Se il mare è calmo il disturbo rispetto alla zona da rilevare è minimo e quindi è anche più facile la "ripulitura" del dato; in caso di mare mosso i riflessi indesiderati aumentano sia come numero che come distribuzione spaziale complicando notevolmente la rimozione dei punti "estranei" tanto da rendere qualitativamente scarso il risultato finale. Per finire anche il vento forte e il conseguente sollevamento di sabbia disturbano la ripresa, perché la macchina tende a fotografare i singoli granuli in sospensione.

È evidente, in conclusione, che per organizzare un'efficace campagna di rilievi bisogna disporre di previsioni meteo molto accurate, che di solito coprono un arco temporale non superiore ai tre o quattro giorni.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

La strategia di risposta al problema dell'erosione fin qui adottata dal Governo regionale si è rivelata fallimentare innanzitutto perché il problema non è stato risolto, poi perché la linea di costa ha assunto un andamento innaturale a causa del controllo esercitato dalle difese

the point cloud, it will be possible to extract the required data as for example the defense lengths, areas, volumes, etc.

The surveys carried out until now supplied useful information about advantages and drawbacks of the instrument use and methodology.

Advantages

a) **Rapidity of survey.** The survey was carried out in few minutes (according to the chosen sampling grid) with a wide field of view (360° on the horizontal plan e 270° on the vertical plan), so that the moving of the instrument is minimized.

b) **Big amount of surveyed points.** The larger the number of surveyed points the better the simulation of the real object; in such a way interpolations between points are minimized therefore calculations and interpretations are closer to the reality; moreover irregular surfaces are taken with the greatest detail.

c) **Millimetre precision.** The high precision level of the survey makes possible to obtain very accurate 3D models; in this way it is possible to save time in the field extracting the needed information directly from the model.

Drawbacks

a) **Delicacy of the instrument.** The instrument is very fragile so it has to be handled very carefully; any damage implies the waste of many weeks of work because the scanner has to be consigned to the manufacturer for the repairs.

b) **Scarce handiness.** The equipment is very bulky, so at least three people are needed for transport, installation and for quick moving within the surveying site.

c) **Dependence on weather conditions.** In case of rain the instrument cannot be used because the drops on its cover glasses would make the laser beam be deflected; moreover the instrument cannot get wet to avoid the water penetration injures internal devices.

In case of fog the beam would be almost completely absorbed, lowering greatly the performance of the scanner. Another problem is the sea surface that generates undesired points in the cloud; if the sea is calm the noise is small and it can be easily removed from the point cloud during the data processing phase; in case of rough sea the noise increases and widens so that the removal of undesired points becomes more complex and the final result has low quality. The strong wind and the resulting raise of sand disturb the survey because the flying grains reflect the laser beam. It is evident how the field activities are strongly influenced by the weather conditions, above all rain and wind.

Therefore accurate weather forecast is needed, but usually it is available only three or four days in advance.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Summarizing the response strategy to the erosion problem has failed, firstly because the problem was not solved, secondly because the coastline took an unnatural appearance due to the control of the defenses (Figure 6) and finally because of the heavy environmental

costiere (Figura 6) ed infine per il forte degrado ambientale che caratterizza la fascia costiera attuale.

I rilievi effettuati hanno dimostrato come, nella gran parte dei casi, le opere non siano state realizzate secondo il progetto originale. Come accennato, gli interassi fra i pennelli sono spesso disuguali ed è facile notare come la loro posizione sia influenzata dalla presenza di residenze e strutture turistiche (Figura 12). Inoltre le lunghezze dei pennelli e le dimensioni dei massi sono di solito inferiori rispetto alle indicazioni progettuali.

degradation of the coastal strip.

Our analysis shows how the works have been realized not according to the original design. In fact the distance are often uneven and is easy to note as their position is influenced by the presence of houses and tourist structures (Figure 12). Further the lengths of the defenses and blocks dimensions are commonly smaller than the originally designed ones.

Fig. 12 - Distanze disuguali tra pennelli per la presenza di stabilimenti balneari
- Uneven distances between groynes due to the presence of bathing establishments



È mancato, peraltro, un vero coordinamento degli interventi. Le Amministrazioni comunali hanno preferito affrontare il problema limitatamente ai propri territori di competenza ed in risposta ad emergenze momentanee, senza preoccuparsi di tutto il restante tratto costiero. Questo modo d'agire ha prodotto un abnorme aumento dell'erosione sottocorrente rispetto agli interventi effettuati e, come risultato finale, una aberrante linea costiera "a gradini" (Figg. 6-13).

Above all there was not a real coordination of interventions; the local authorities have faced the problem within the limits of their territories and in response to momentary emergencies without worrying of the rest of coastal strip. This produced a step-shaped pattern of the shoreline (Fig. 6, 13) due to the increase of erosion rates downdrift of the interventions.



Fig. 13 - Esempio di gradino di erosione della spiaggia sottocorrente rispetto all'opera di difesa
- Example of a step of the shoreline downdrift of defense structure



Fig. 14 - Intervento diretto di un proprietario e conseguente erosione sottocorrente
 - *Direct landowner intervention and resulting downdrift erosion*

A ciò si aggiunga che i privati hanno spesso agito di propria iniziativa, aggirando la Normativa e creando inconsapevolmente ulteriori danni (Figura 14).

Su tutto domina l'assoluta mancanza di un'approfondita conoscenza della dinamica costiera cui assoggettare mirate scelte progettuali. Questo modo d'agire si è protratto a lungo nel tempo, in quanto tutti gli interventi sono stati realizzati in regime di emergenza e quindi completati il più rapidamente possibile.

Per ultimo (Figura 15) è mancata qualunque manutenzione in grado di rallentare il rapido degrado, tipico in un ambiente a così alta energia. Questo aspetto non ha mai ricevuto la meritata attenzione, sicché i problemi sono stati sempre rincorsi piuttosto che anticipati. Tra Margherita di Savoia e Zapponeta si osservano in mare molti cumuli di blocchi, resti di vecchi pennelli demoliti dal mare. Le gabbionate sono tutte esposte ad un intenso scalzamento al piede che provoca la rottura della struttura metallica e la fuoriuscita dei ciottoli (Figura 5). Il deterioramento delle difese costiere, più volte ricostruite, rappresenta, dunque, un costo per la società ed un pericolo per gli utenti delle spiagge.

I primi test con il laser scanner hanno dimostrato che questo strumento può essere utilmente impiegato per il monitoraggio delle aree litorali. Le prossime campagne sistematiche saranno effettuate nei mesi di marzo, giugno e settembre. In questo e nel prossimo inverno gli interventi saranno condizionati dal verificarsi delle mareggiate. In tal modo sarà possibile monitorare le variazioni di profilo delle spiagge individuandone facilmente le cause.

Inoltre il confronto tra i modelli 3D, che di volta in volta si realizzeranno, potrà evidenziare i cambiamenti sopravvenuti nelle strut-

Moreover the landowners often have acted independently going over the laws and creating further damages (Figure 14).

Another important aspect is the lack of a sound knowledge of the acting coastal dynamics; hence it follows the wrong project choices. This problem has lasted because almost all the interventions were carried out with bureaucratic procedures of urgency, which provide for the work to be accomplished as soon as possible.

At last there was not the maintenance of the works (Figure 15), which run up against a rapid deterioration due to a such energetic environment. This aspect also never had the right concern, so that the problems have been run after rather than anticipated. Between Margherita and Zapponeta there are several piles of blocks in the sea: these are the remnants of old groynes demolished by the sea. Gabions are often subject to toe erosion that causes upsetting and discharge of cobbles (Figure 5). Deterioration of coastal works is a cost for the society and a danger to the beach users.

The first test of the laser scanner has shown that it can be applied for defense monitoring. Future activity will then consist of at least three surveys during the year in March, June and September; further surveys will be done if possible in winter after strong storm events. The comparison between 3D models will point out the changes occurred in the meantime in the defenses framework (breaks and shifts of the blocks, undermining of the gabions etc). Collected data will be useful to assess the response of the works to wave events so as to improve the planning phase of the works. Since during the survey beaches are taken too, it will be possible to monitor the changes of the beach profiles and correlate them with the wave and wind events.



Fig. 15 a,b - Cattiva manutenzione delle opere
- Bad maintenance of the works

ture delle difese (rottura e spostamento dei blocchi, scalzamento delle gabbionate, ecc.). I dati raccolti saranno utili per valutare la risposta delle opere al moto ondoso e a migliorarne la fase di progettazione.

Our future aim is also to compare the laser scanner technique with the classic topographic survey to recognize advantages and disadvantages of each one.

OPERE CITATE / REFERENCES

- AA. VARI (1992) - *Relazione sullo stato dell'ambiente*. Min. Ambiente, Istituto Poligrafico della Zecca di Stato, Roma.
- AA. VARI (2000) - *Studi preliminari per la redazione dei piani di bacino - Geofisica relativamente allo studio della dinamica costiera per aree critiche. Final Report*. Regione Puglia, pp. 373.
- BOEHLER W., BORDAS VICENT M. & MARBS A. (2003) - *Investigating laser scanner accuracy*. Proceedings of XIX CIPA Symposium; (also available at: <http://scanning.fh-mainz.de/scannertest/results300305.pdf>).
- BOEHLER W. & MARBS A. (2002) - *3D scanning instruments*. Proc. of the CIPA WG6 Int. Workshop on scanning for cultural heritage recording. (Also available at: <http://www.isprs.org/commission5/workshop>).
- CALDARA M. & PENNETTA L. (1991) - *The Pleistocene buried abrasion platforms of the southeastern Tavoliere (Apulia, South Italy)*. *Il Quaternario*, 4 (2): 303-310.
- CALDARA M. & PENNETTA L. (1993) - *Ambienti aridi del tipo "Sabkha" nei sedimenti olocenici della piana costiera fra Manfredonia e Zaponeta*. *Bonifica*, VIII(3): 73-82.
- CALDARA M., PENNETTA L. & SIMONE O. (2002) - *Holocene Evolution of the Salpi Lagoon (Puglia, Italy)*. Int. Coastal Symp., Templepatrick, Northern Ireland, March 25-29 2002, *Journal of Coastal Research* SI 36: 124-133, figg. 9.
- CALDARA M., CAZZELLA A., FIORENTINO G., LOPEZ R., MAGRI D., SIMONE O. (2000) - *Primi risultati di una ricerca paleoambientale nell'area di Coppa Nevigata (Foggia)*. Atti del 18° Convegno Nazionale sulla Preistoria, Protostoria e Storia della Daunia. S. Severo 28-29 Novembre 1998. 35 pp., 7 figg., 4 tabb., Stab. Lit. Centrografico Francescano, Foggia.
- CALDARA M., CENTENARO E., MASTRONUZZI G., SANSÒ P. & SERGIO A. (1998) - *Features and present evolution of apulian coast (Southern Italy)*. Int. Coastal Symp., Palm Beach Florida, May 19-23, 1998. *Journ. Coastal Research*, SI 26: 55-64.
- FABBRI A. & GALLIGNANI P. (1972) - *Ricerche geomorfologiche e sedimentologiche nell'Adriatico meridionale*. *Giorn. Geol.*, 38 (2): 453-498, Bologna.
- HUNTER G., PINKERTON H., AIREY R. & CALVARI S. (2003) - *The application of a long-range laser scanning for monitoring volcanic activity of Mount Etna*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 123: 203-210.
- MARACCHIONE M. I. (2003) - *Valutazione dell'impatto antropico nei processi di dinamica costiera in atto tra Barletta (BA) e Manfredonia (FG): l'influenza delle opere di difesa litorali*. Tesi di dottorato inedita, Università di Bari.
- SIMEONI U. (1992) - *I litorali tra Manfredonia e Barletta (Basso Adriatico): dissesti, sedimenti, problematiche ambientali*. *Boll. Soc. Geol. It.*, 111: 367-398.

Received November 2005 - Accepted March 2006