



# Sand nourishment – Hondsbossche Dunes

**Progetto Campus-Sardegna**

Cultura del paesaggio e uso consapevole del territorio

**Think tank: “Cambiamenti climatici e paesaggio: cura dei luoghi e  
mitigazione degli impatti”**

**16 aprile 2021**

**Materiale didattico strettamente riservato ad uso interno**

*Traduzione a cura di Gianni Agnesa – Formez PA*

**Il Progetto Campus Sardegna, promosso dall'Assessorato degli Enti Locali, Finanze e Urbanistica della Regione Autonoma della Sardegna ed è centrato sullo sviluppo delle competenze delle figure che tutelano, progettano e gestiscono il paesaggio. Finanziato dal PO FSE 2014-2020 Asse 4 – Obiettivo tematico 11. - Ob.11.3. Azione 11.3.3. è stato affidato al FormezPA, Agenzia in house della Regione Sardegna In base alla Convenzione Quadro Regione Autonoma della Sardegna – Formez PA 2017-2021.**

**PANORAMICA**

Il terrapieno a protezione delle mareggiate – o diga marina- di Hondsbossche e Pettemer non soddisfacevano più gli attuali standard di sicurezza. Pertanto, la diga è stata rinforzata nel 2015 con una barriera naturale morbida di oltre 30 milioni di metri cubi di sabbia<sup>1</sup> realizzata nell’arenile davanti alla diga stessa. Il complesso spiaggia- dune stato ribattezzato "Hondsbossche Dunes". La costruzione ha offerto l'opportunità unica di studiare lo sviluppo delle dune e dell’ambiente naturale a seguito di un grande ripascimento di sabbia.

**Località: Costa tra Camperduin e Petten (NL)**

**Data: 2014-2015 (costruzione), 2015-2018 (monitoraggio e progetto di ricerca innovativa)**

**Parti coinvolte: Waterboard Hollands Noorderkwartier, Rijkswaterstaat, EcoShape (HKV, Witteveen en Bos, WUR, Van Oord, Arcadis e Deltares)**

**Ambiente: coste sabbiose**

Parole chiave: area dunale costruita, lago dunale, ripascimento della sabbia, progetto di ricerca e innovazione, sviluppo dell'habitat, trasporto della sabbia.

Traditional design	Building with Nature design
	
<p><i>Progetto tradizionale</i></p>	<p><i>Costruire con la natura</i></p>
<p>La soluzione tradizionale per una costa in erosione è costruire una diga di basalto, possibilmente con pennelli. Sebbene la diga offra alcuni vantaggi ecologici (ad es. ricreazione di ecosistemi, con cibo e ricovero per gli uccelli), il progetto porta a una maggiore erosione del fondale marino proprio di fronte alla diga. Di conseguenza, è necessaria una manutenzione frequente per soddisfare gli standard di sicurezza stabiliti.</p>	<p>Utilizzo di una morbida barriera naturale di dune di sabbia per proteggere l'entroterra dalle inondazioni. Le tecniche di ripascimento della sabbia sono utilizzate per costruire un nuovo paesaggio di dune che fornisce anche valori naturali e per il tempo libero.</p>

Il progetto è costituito da un litorale sinuoso e poco profondo (la spiaggia) e da un variegato paesaggio di dune artificiali che ha il potenziale per svilupparsi in preziosi habitat Natura 2000. Insieme, questi sistemi connessi costituiscono la difesa primaria dalle inondazioni e forniscono la qualità spaziale desiderata.

<sup>1</sup> La Piramide di Cheope ha un volume di 2,6 M mc. Dunque, sulla spiaggia di Hondsbossche è come se si fossero scaricate 11,5 “piramidi di sabbia”

Il progetto di innovazione EcoShape è uno studio interdisciplinare triennale dell'area incentrato sullo sviluppo e la percezione della natura e lo sviluppo morfologico dell'area.

Lo scopo del progetto innovativo è di saperne di più su un efficiente ripascimento della sabbia, con un valore aggiunto per la natura e il tempo libero.

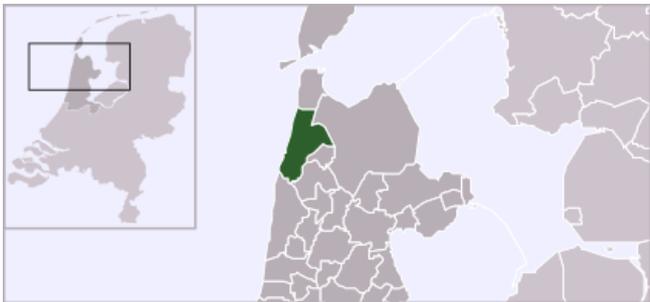
Il programma di ricerca comprende tre temi:

- A. Previsione dello sviluppo di habitat ingegnerizzati**
- B. Ottimizzazione del design e dell'evoluzione morfologica**
- C. Percezione della comunità locale e dei visitatori**

Una migliore comprensione di questi problemi è fondamentale per l'elaborazione di un quadro di valutazione per il processo decisionale circa le diverse soluzioni per realizzare rafforzamenti di sabbia costieri. Il progetto offre inoltre un quadro più chiaro sulle possibilità di progettazione, gestione e manutenzione di queste strutture sabbiose.

### AVVIO PROGETTO

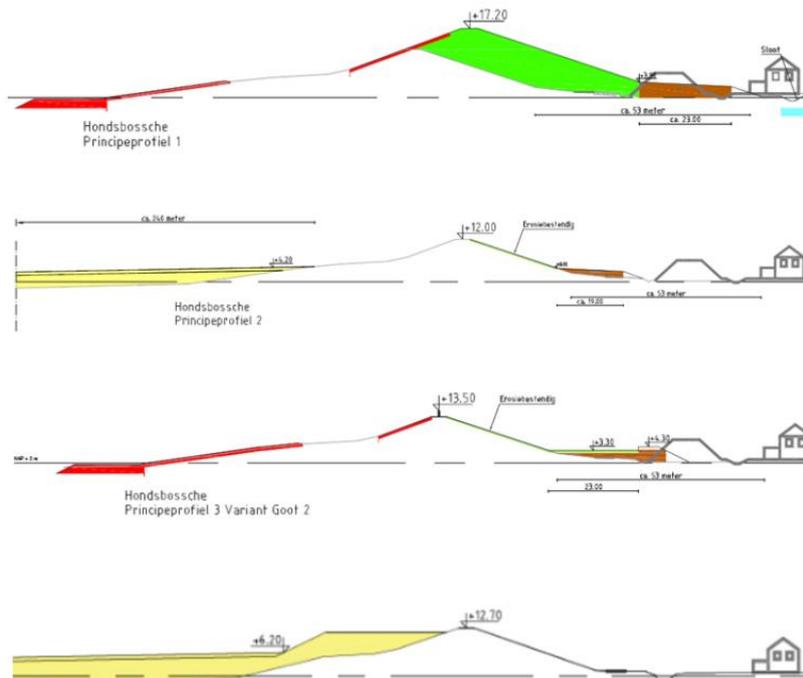
Sulla base di un test di previsionale nel 2003 è emerso che la sicurezza contro le inondazioni non poteva essere garantita nella costa tra Petten e Camperduin.



Sia la diga marina che parti delle dune sabbiose di Hondsbossche e di Pettemer non hanno superato il test. I criteri di superamento dell'onda non sono stati soddisfatti e anche la stabilità dello strato erboso del versante posteriore era precaria.

Nel 2004, la costa è stata designata dalla *Rijkswaterstaat* (Direzione generale dei lavori pubblici e della gestione delle acque nei Paesi

Bassi) come uno dei "tratti deboli" lungo la costa. Tale qualifica attribuisce priorità per affrontare il problema. Tuttavia, si è arrivati fino al 2011 prima che il potenziamento della diga fosse affrontato come un progetto integrale nel quadro dell'HWBP (il High Water Protection Program o Programma di protezione dalle acque alte). Nel frattempo, sono state prese alcune misure temporanee perché la difesa costiera dell'area è via via apparsa ancora più a rischio di quanto previsto l'anno prima.



Queste misure temporanee includevano un'ulteriore lastra di protezione e una maggiore rugosità del pendio.

### Selezione di alternative

C'erano diverse alternative (vedi schizzi affianco) per migliorare la sicurezza degli argini in quest'area:

- 1) innalzamento sommità duna
- 2) ripascimento della battigia
- 3) rinforzo della diga contro il superamento delle acque
- 4) Nuovo sistema dunale dalla battigia alla diga

La decisione di costruire dune nella battigia ha prevalso (opzione 4 nell'immagine precedente). La scelta di una soluzione con l'utilizzo prevalente della sabbia è in linea con la politica costiera nazionale di applicare una difesa del mare "morbida" fatta ove possibile fatta con l'uso della sabbia. Inoltre, combattere l'erosione strutturale mediante il ripascimento costituisce un metodo piuttosto collaudato nei Paesi Bassi.

Le altre tre alternative di progettazione hanno alcuni punti negativi che includono:

- Il sollevamento della cresta provocherebbe un impatto eccessivo nella parte interna della diga sottraendo spazio al piede del terrapieno (opzione 1)
- Solo il ripascimento della battigia non fornirebbe una sicurezza adeguata (opzione 2)
- Il potenziamento della protezione rigida sul lato mare e sul lato terra della diga marina non sarebbe ecologicamente sostenibile e intensificherebbe l'erosione della battigia (opzione 3)

Una struttura difensiva sabbiosa come le dune di Hondsbossche (opzione 4) ha invece molteplici vantaggi:

- Crea opportunità per la natura, il tempo libero e il turismo
- Ha un impatto minore sull'ambiente naturale
- Limita il rischio di ritardo del progetto
- Esiste un ampio consenso e supporto da parte delle parti interessate
- Risultava pronto rapidamente ed entro la fine del 2015
- E' facile da adattare (anche rispetto ai futuri cambiamenti climatici)
- E' semplice da verificare
- E' in linea con la politica governativa e costituisce un metodo collaudato

## PIANIFICAZIONE E PROGETTO



Il progetto aveva un duplice obiettivo: migliorare la sicurezza contro le inondazioni e accrescere la qualità spaziale.

**Il budget messo a disposizione per la costruzione più 20 anni di manutenzione è stato di 250 milioni di euro.** Sono state prese in considerazione diverse alternative, ma come detto è stata scelta una soluzione con ampio uso della sabbia a causa dei molteplici vantaggi.

Nel Programma per la nuova difesa del mare viene applicata una zonizzazione spaziale (v. Figura affianco)..

Nella parte centrale dei circa 11 chilometri di sviluppo del fronte mare, prevale lo sviluppo della natura con un lago dunale e un ampio habitat per uccelli e piante. Su entrambi i lati c'è spazio per la ricreazione e il turismo. Queste aree sono situate vicino ai centri esistenti di Petten a Nord e Camperduin a Sud.

La corrente marina prevalente percorre la costa da Sud a Nord.

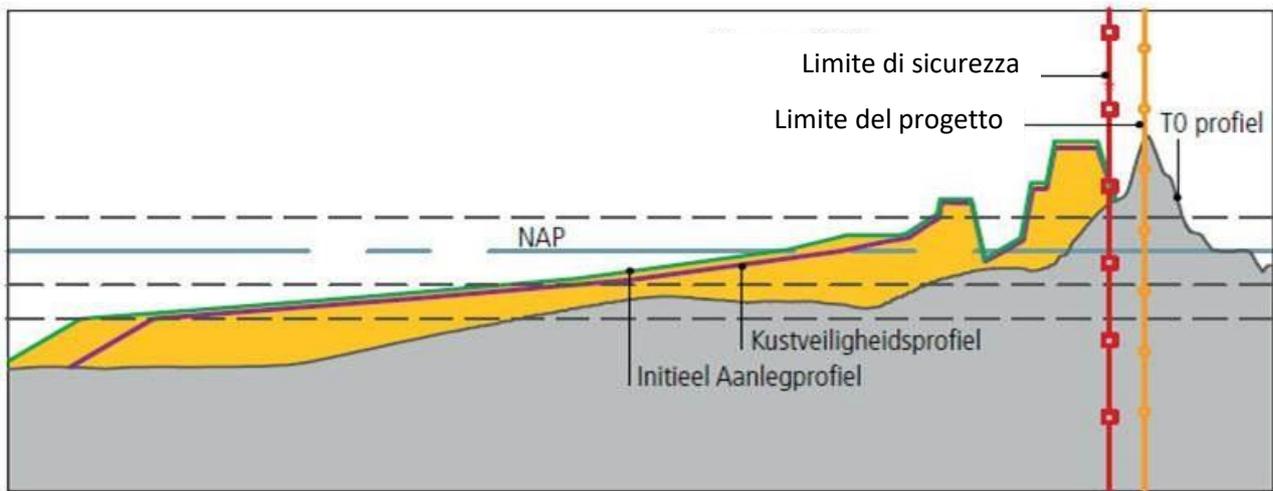
Per tale motivo i centri di accumulo della sabbia sono stati sistemati a sud del tratto costiero per favorirne la distribuzione naturale.

## Progetto

Il layout delle dune di Hondsbossche aveva diversi vincoli di progetto.

Dovevano essere pienamente soddisfatti prima di tutto i requisiti di sicurezza. La difesa costiera **doveva essere in grado di resistere a condizioni di tempesta con la probabilità di un evento su 10.000 anni<sup>2</sup>**. In secondo luogo, le dune dovevano essere progettate tenendo conto dell'innalzamento del livello del mare nell'orizzonte di almeno 50 anni.

Inoltre, la sommità della duna non deve superare i 12 m + NAP<sup>3</sup> e la linea di costa deve essere armoniosa.



— Profilo dunale iniziale

— Profilo dunale finale di sicurezza

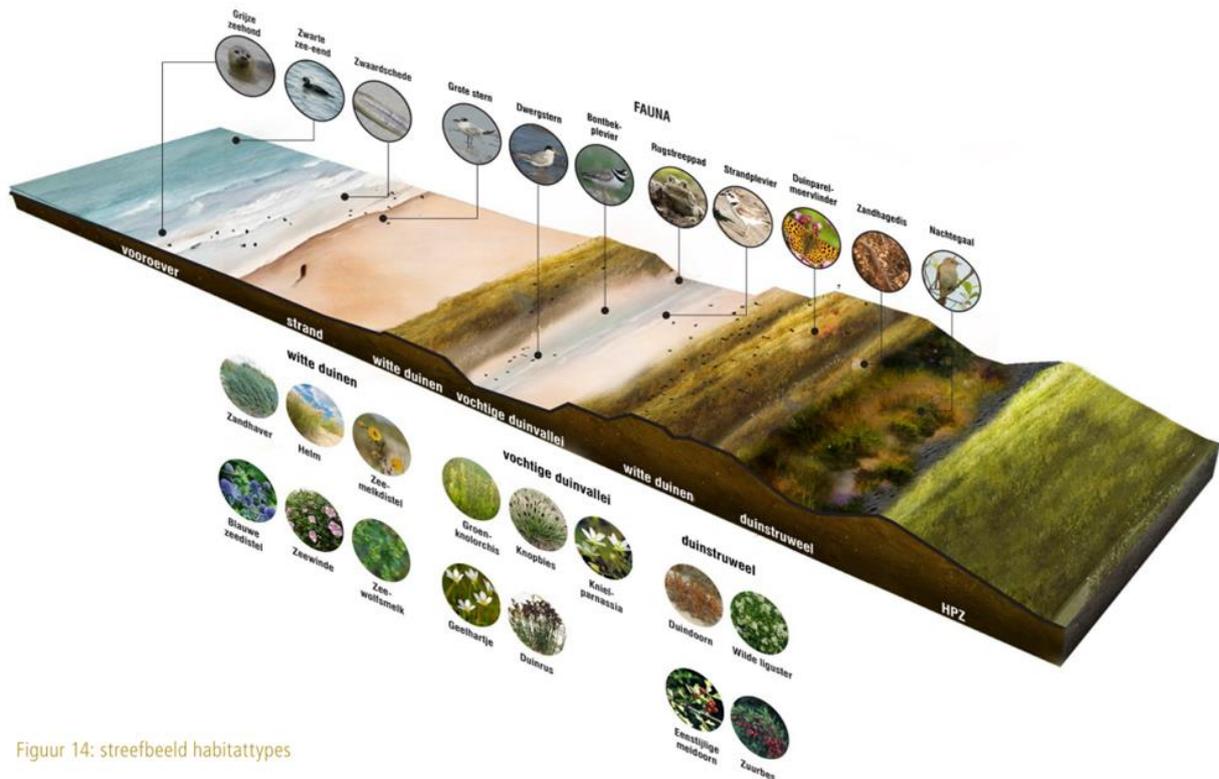
## Qualità naturale e svago

Il progetto mira a quattro tipi di habitat di Natura2000, vale a dire: habitat del litorale (banchi di sabbia permanentemente sommersi, H1110), dune embrionali (H2110), dune con Olivello spinoso (*Hippophaë rhamnoides*, H2160) e avvallamenti dunali (abbassamento tra le dune dove la falda freatica si trova vicino alla superficie, H2190). Gli avvallamenti delle dune sono previsti nel progetto (come si vedrà in seguito) per migliorare la qualità naturale dell'area delle dune. Il progetto ha anche fornito opportunità ricreative per cittadini e visitatori, come piste ciclabili, sentieri pedonali e una ippovia.



<sup>2</sup> Nella notte tra il 18 e il 19 novembre 1421, la terribile tempesta di Santa Elisabetta spazzò via parte delle strette dune costiere (Hondsbossche), allagando le terre retrostanti. Ma la popolazione di Pettemer è stata molto più sfortunata. Le persone fuggirono verso la chiesa di Petten situata un po' più in alto, ma ben presto circondata dall'acqua di mare. Alla fine la chiesa crollò. Sarebbero morti solo lì circa 400 abitanti di Pettemer. Ma in totale la tempesta uccise tra le 2000 e le 10.000 persone.

<sup>3</sup> NAP Normaal Amsterdams Peil livello standard di altezza del mare. Lo zero è la media delle piene estive nei canali a nord di Amsterdam. È una misura in uso nel Nord Europa.



Figuur 14: streefbeeld habitattypes

Sviluppo della natura presso le dune di Hondsbossche. Sezione trasversale valore naturale nelle Dune di Hondsbossche.

### Fauna

La lista della fauna riporta (da sinistra a destra): foca grigia (grijze zeehond), anatra marina nera (zwarte zee-eend), coltelli di mare (zwaardschede), sterna (grote stern), sterna nana (dwergstern), piviere inanellato (bontbekplevier), rospo calamita (rugstreepad), piviere della spiaggia (strandplevier), farfalla delle perle delle dune (duinparelmoervlinder), lucertola delle sabbie (zandhagedis), usignolo (nachttegaal)

### Vegetazione

- dune bianche (witte duinen): avena di sabbia (zandhaver), erba di marram (elmo), cardo mariano (zeemelkdistel), cardo marino blu (blauwe zeedistel), vento di mare (zeewinde), latte di lupo di mare (zeewolfsmelk),
- avvallamenti e laghi dunali (vochtige duinvallei): orchidea tubero verde (groen knolorchis), bottoniera (knobbies), pangassia inginocchiata (knielparnassia), cuore giallo (geelhartje), duinrus (duinrus)
- boschetti di dune (duinstruweel): olivello spinoso (duindoorn), ligustro selvatico (wilde liguster), biancospino singolo (eenstijlige meidoorn), crespino (zuurbes)
- dune grigie ("grey dunes") Fixed coastal dunes with herbaceous vegetation

La costruzione del sistema dunale contiene misure per catturare la sabbia e ridurre il trasporto. Oltre a piantare l'*Ammofila arenaria*, queste misure includono schermi di salice intrecciato, ma soprattutto gli ARF o Dislivelli artificiali (Artificial Relief Features) che sono stati introdotti per aumentare le dinamiche naturali nell'area. Si tratta di avvallamenti di 40-200 mq per 1 o 2 metri di profondità, che non vengono inerbiti ed anzi si ripuliscono dalla vegetazione, ameno in un primo periodo. Hanno la capacità di interrompere il trasporto di sabbia.



Interventi locali: graticci di salice



ARF ovvero conformazioni con dislivelli artificiali (immagine dicembre 2016)

### ***Coinvolgimento degli stakeholder***

Nella fase di avvio, le preoccupazioni e le preferenze dei cittadini locali sono state raccolte tramite lettere ufficiali che chiedevano la loro reazione al Progetto.

**Si è scoperto che per i cittadini del luogo, una delle principali preoccupazioni era che la nuova area di dune avrebbe comportato trasporto di sabbia nell'entroterra della diga (nel "loro cortile").**

In risposta alle preoccupazioni della popolazione locale, il progetto è stato adattato per ridurre al minimo il trasporto di sabbia dietro il vecchio terrapieno. Ciò è stato fatto creando una "zona cuscinetto" tra le dune e il terrapieno e inserendo balle di paglia in questa zona cuscinetto per catturare ulteriormente la sabbia. Inoltre, l'Ammofila arenaria e il lago tra le dune intrappolano la maggior parte della sabbia all'interno delle valli delle dune.

### **COSTRUZIONE**

I lavori di costruzione sono iniziati con il ripascimento della battigia utilizzando draghe idrovore trainate di medie dimensioni (TSHD), seguito dal ripascimento di spiagge e dune con Idrovore jumbo. La sabbia è stata prelevata da diverse aree di prestito al largo con una profondità dell'acqua variabile tra 20-28 metri e una distanza compresa tra 6 e 11 miglia nautiche (11 km – 20 km) dal sito del progetto. Nell'aprile 2015 tutta la sabbia era a posto e la sezione costiera è stata ufficialmente dichiarata "conforme agli standard di sicurezza" dal Ministro dei Lavori pubblici olandese.



La prima lingua di sabbia affiorante a circa 150 m dalla vecchia battigia viene creata tramite l'apporto del draghe medie che utilizzano la tecnica del rainbowing.

Successivamente si inizia il deposito di grandi quantità di sabbia sulla spiaggia con le idrovore jumbo (punti di accumulo) e secondo il senso da sud a nord per sfruttare le correnti.



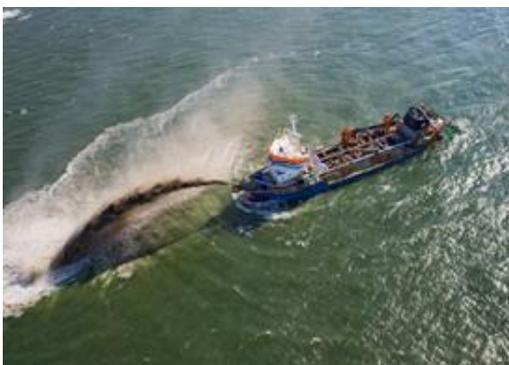
Ripascimento della spiaggia (immagine inizio 2015). La distribuzione a terra avviene tramite bulldozer e ruspe.

Il progetto Weak Links (anelli deboli) consiste nella progettazione, costruzione e manutenzione ventennale della nuova protezione costiera tra Camperduin e Petten.

L'area ha una lunghezza costiera totale di circa 11 km. L'obiettivo principale della costruzione era come detto l'accumulo modellato di circa 35 milioni di mc di sabbia. La maggior parte di questo volume è stata necessaria per creare un nuovo sistema di dune e spiagge che soddisfi i moderni standard di sicurezza.

Circa il 30% in più dello strettamente necessario è servito per compensare gli assestamenti, le perdite di sabbia idrauliche ed eoliche e un allineamento senza creare discontinuità con le coste adiacenti. L'area delle dune è stata parzialmente piantumata con l'Ammofila arenaria. Tra gli altri interventi previsti dal progetto sono stati costruiti una pista ciclabile, un percorso pedonale, un'ippovia e attrezzature ricreative.

I lavori di ripascimento sono iniziati il 3 marzo 2014.



Il ripascimento della battigia è stato posto mediante "rainbowing"<sup>4</sup> con TSHD (Trailing Suction Hopper Dredger) medio

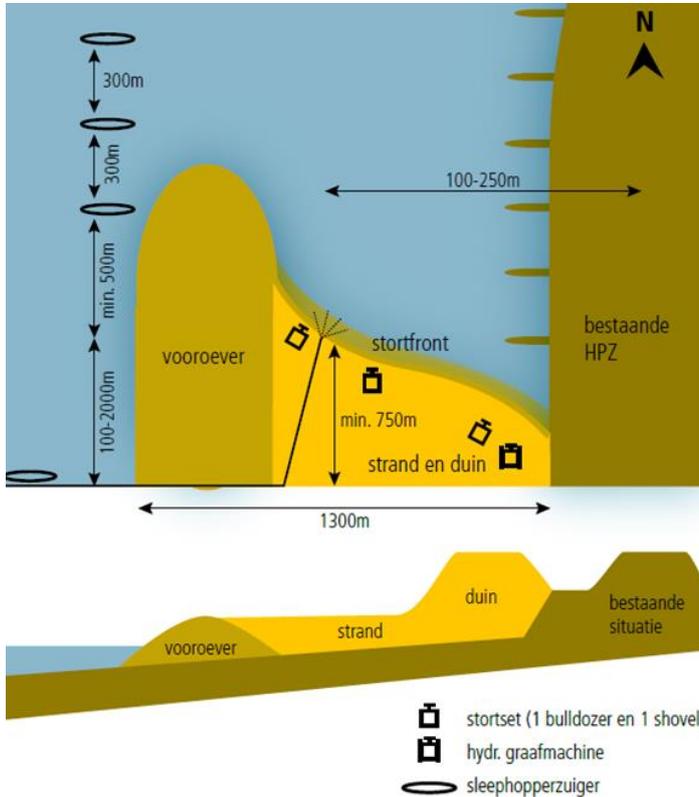


La sabbia per le spiagge e le dune è stata scaricata sul sito con una tubazione sottomarina

<sup>4</sup> Il Rainbowing è un metodo mediante il quale le draghe aspirante e prementi posizionano il materiale in aree poco profonde pompandolo nell'aria attraverso un tubo con un ugello.

Le dune di Hondsbossche sono state costruite da Camperduin (sud) a Petten (nord), seguendo la direzione dominante di trasporto dei sedimenti verso settentrione.

L'immagine sotto mostra l'ubicazione dei bulldozer e delle pale, dell'escavatore idrodinamico e delle navi draganti (pompe) durante i lavori di costruzione.



Vista dall'alto e sezione trasversale durante la costruzione delle dune di Hondsbossche

Battigia (vooroever), fronte di versamento (stortfront), spiaggia e duna (strand en duin), HPZ (Hydrological Protection Zone)

Situazione esistente (bestaande situatie)

bulldozer con pala (stortset)

escavatore idraulico (hydr. graafmachine)

draga a pompa aspirante (sleehopperzuiger)

### Funzionamento e manutenzione



Fanno parte del progetto i lavori di manutenzione del tratto costiero. L'obiettivo principale della manutenzione è mantenere il sistema di protezione costiera del progetto all'altezza dei requisiti iniziali di sicurezza.

I lavori di manutenzione continueranno fino al 2036.

Le attività di manutenzione all'interno di un ciclo annuale comprendono tra l'altro:

- Batimetria annuale e monitoraggio topografico
- Ispezioni visive trimestrali
- Valutazione del volume di sicurezza della sabbia e della larghezza della spiaggia
- (se richiesto) Sabbia (ri) pascimento
- Misure proattive contro depositi eolici indesiderabili
- Monitoraggio della (qualità della) vegetazione
- Monitoraggio della qualità dell'acqua della laguna di Camperduin
- Ispezioni delle attrezzature ricreative e altri

Ogni anno, il programma di monitoraggio e manutenzione viene valutato e, se necessario, adeguato.

### **LA LEZIONE IMPARATA**

L'obiettivo del progetto di innovazione EcoShape è saperne di più su un efficiente ripascimento della sabbia, con un valore aggiunto per la natura e il tempo libero. I temi di ricerca sono:

#### **A. Previsione dello sviluppo di habitat ingegnerizzati**

#### **B. Ottimizzazione del design e dell'evoluzione morfologica**

#### **C. Percezione della comunità locale e dei visitatori**

#### **A. Previsione dello sviluppo di habitat ingegnerizzati**

In Olanda, dalla fine degli anni '90, sono stati realizzati diversi ripascimenti con la sabbia.

Esempi sono "Kennemerstrand / duinen", "Spanjaardsduin", "Zandmotor" (il cosiddetto Sand Engine) e "Hondsbossche Duinen" che viene affrontato in questo studio.

Alcuni altri progetti come "Waterdunen" e "Prins Hendrik Zanddijk" sono ancora in costruzione. Si prevede che nel prossimo futuro seguiranno ulteriori progetti di rafforzamento costiero per compensare gli effetti dell'innalzamento del livello del mare al fine di preservare una difesa sicura dalle acque. Tutti questi progetti sono stati avviati per un motivo diverso. Ogni singolo progetto fornisce una combinazione delle tre funzioni, vale a dire **sicurezza costiera, natura e ricreazione**.

Mentre la prevedibilità degli sviluppi morfologici rispetto alla sicurezza costiera è generalmente buona per quanto riguarda la direzione e il tipo di sviluppo, è piuttosto moderata per ciò che concerne quale sia la velocità di sviluppo effettiva di questa trasformazione. La controllabilità (teorica) dei processi morfologici sembra dunque essere realizzabile sebbene questa valutazione non possa essere fatta con certezza per tutte le aree.

Per quanto riguarda l'ecologia, tuttavia, ad esempio gli habitat e lo sviluppo della natura, i processi sono generalmente ben compresi, ma possono essere caotici e con modalità ed effetti (a cascata) abbastanza differenziati. Per contrastare sviluppi indesiderabili, ovviamente è possibile definire misure esatte a priori, ma un tale intervento andrebbe contro il concetto generale di dinamica naturale e l'idea originale alla base dei progetti, ovvero "Costruire con la Natura".

Poiché i processi davvero rilevanti hanno tempi lunghi (fino a decenni) non è ancora possibile trarre conclusioni, vale a dire giudicare dopo solo pochi anni (come nel caso di questo progetto). Pertanto, non è ancora chiaro se saranno necessari interventi su scala più ampia per governare come voluto la dinamica della sabbia (e dell'ecosistema).

#### **B. Ottimizzazione del design e dell'evoluzione morfologica**

Le lezioni apprese sull'evoluzione morfologica e l'ottimizzazione progettuale dell'area dunale di nuova costruzione "Hondsbossche Duinen" si basano principalmente sui dati della spiaggia asciutta e dell'area dunale, quindi determinata dal trasporto eolico dei sedimenti. Lo sviluppo dell'area sottomarina è stato analizzato brevemente sulla base dei dati di sezioni annuali (Bodde et al., 2018b).

I risultati più rilevanti di questo studio riguardano diversi aspetti, vale a dire:

1. processi fisici,
2. l'impatto delle misure di progettazione
3. l'impatto della sicurezza contro le inondazioni e la successiva ottimizzazione del progetto.

## 1) Processi fisici

Per quanto riguarda i processi fisici dominanti si sono potute determinare quattro conclusioni principali.

- Il volume totale di sabbia sollevata dal vento nelle dune è determinato dalla disponibilità di sabbia asciutta della spiaggia piuttosto che dalla geometria locale del corpo dunale stesso. In altre parole, la geometria locale ha solo un impatto sulla distribuzione del volume fornito.
- È stata osservata una variazione lungo la costa nell'accumulo netto di sedimenti nell'area di studio. L'orientamento del piede della duna ha mostrato una correlazione con l'accumulo totale di sabbia nelle dune dove è stato osservato un maggiore accumulo in luoghi in cui l'orientamento della costa è più vicino alla perpendicolare alla direzione del vento dominante.
- La larghezza della spiaggia gioca anche un ruolo nel rifornimento di sedimenti alle dune. Ma poiché c'è una tale abbondanza di sabbia, la larghezza della spiaggia non è ancora diventata un fattore limitante nel trasporto della sabbia verso le dune. Tuttavia, a livello locale è stata trovata una correlazione tra larghezza ridotta della spiaggia e ridotti tassi di crescita delle dune. In altre parole, la configurazione su larga scala dell'area spiaggia/duna determina l'approvvigionamento di sabbia.
- Nei primi tre anni dopo la realizzazione del ripascimento è stato osservato un tasso di crescita medio netto delle dune (misurato al di sopra del livello NAP + 3 m) di  $33 \text{ m}^3 / \text{m} / \text{anno}$ . Le osservazioni successive corrispondono alle stime che sono state definite durante la fase di progettazione del progetto.

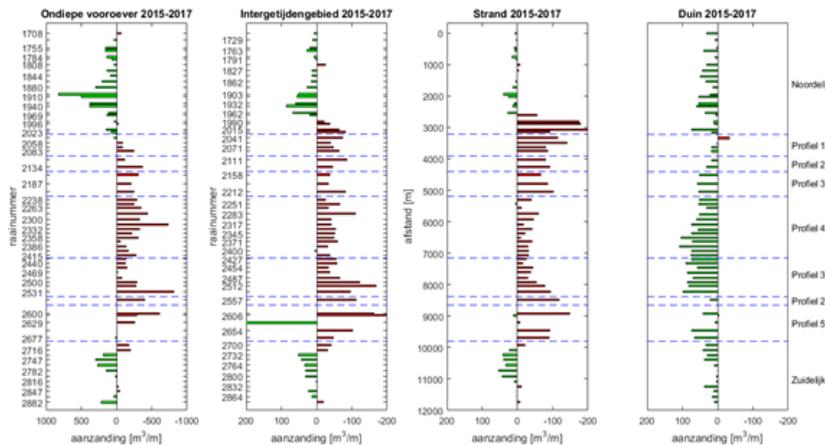


Sviluppo morfologico in due anni dopo la costruzione dell'area spiaggia / duna Hondsbossche Duinen. Misurazione e immagine scattate il 24 maggio 2015 (a sinistra) e l'11 agosto 2017 (a destra).

Sulla base dei tassi di crescita delle dune osservati, le stime per i futuri ripascimenti possono ora essere fatte con una maggiore affidabilità poiché questo set di dati aggiuntivo supporta i risultati di De Vries et al. (2012) e Van der Wal (2004). Si prevede tuttavia che il tasso di accumulo dei sedimenti diminuirà nei prossimi anni a causa di una riduzione dell'offerta di sedimenti particolarmente fini dalla spiaggia dovuta a processi naturali.

L'area sottomarina non rientrava nell'ambito di questo progetto di ricerca ed è stata analizzata solo brevemente sulla base dei dati di sezioni, vedere la figura sotto.

È stato riscontrato che almeno il 50% dell'aumento di volume totale dell'area dunale proviene dall'area sottomarina sotto l'acqua alta media (MHW). Inoltre, il volume totale di crescita delle dune è pari a circa 1/3 della perdita di volume totale osservata dalla spiaggia e dall'area sottomarina.

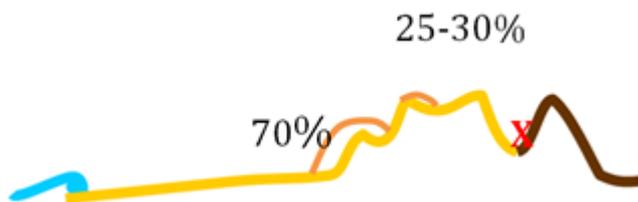


Variazione del volume della battigia, della zona intertidale, della spiaggia e della duna sulla base del Jarkus transects nel periodo 2015-2017 (rosso - erosione; verde - accrescimento)

### Impatto delle misure di progetto

Per quanto riguarda l'impatto di una serie di azioni di progetto, sono state tratte le seguenti conclusioni.

- La variabilità lungo la costa si traduce in un'evoluzione dopo la costruzione, e quindi in un paesaggio dunale variabile lungo la costa. Ciò dovrebbe avere un impatto positivo sui valori ecologici (tema A) e anche sulla percezione e l'apprezzamento del pubblico del progetto (tema C).
- In un profilo medio della spiaggia, la maggior parte del sedimento (70%) si è depositato sul lato a mare del fronte delle dune, principalmente al di sotto del livello NAP + 8 m. Il resto (25-30%) del volume si deposita sulla sommità della duna, principalmente nella parte verso il mare. Solo piccole quantità vengono depositate sul lato verso terra di questa prima duna. Questo tipico pattern di deposizione oltre le onde è presente per diverse geometrie di sezione di spiaggia. Solo l'esatta posizione di deposizione (altezza nel profilo) del "deposito del 70%" sul lato verso il mare è variata.



Distribuzione deposizionale di sabbia su un profilo medio

- La distribuzione dei depositi di sedimenti del profilo di spiaggia può essere utilizzata in fase di progettazione per ottimizzare il disegno spaziale della duna. Gli habitat o le funzioni che richiedono un sistema dinamico dovrebbero essere ubicati vicino al fronte mare, mentre le funzioni che richiedono un rifornimento di sabbia limitato o inesistente dovrebbero essere collocate verso terra. Nel caso in cui si desideri dinamizzare ulteriormente verso terra, le misure di progettazione possono essere ottimizzate per stimolare il trasporto di sabbia ulteriormente nell'area delle dune (ad esempio con dune basse).
- Anche la geometria complessiva della duna può essere ottimizzata. La sabbia è per lo più depositata nelle parti inferiori del profilo, creando un sistema che include una duna bassa sul lato verso il mare e si sviluppa in una zona più ampia con depositi di sabbia e crescita dinamica. D'altra

parte, dal punto di vista della sicurezza, una duna più stretta, ma alta è ottimale, perché le dune aumentano poco in altezza dopo la costruzione, quindi il livello massimo di duna dovrebbe essere previsto dall'inizio. Col tempo, i depositi eolici sul lato a mare della duna porteranno ad un aumento del livello di sicurezza.

- Variazioni nella geometria su larga scala e misure locali come schermi sottobosco, rilievi artificiali e vegetazione possono essere applicate a:
  - - Influenzare i luoghi di deposito dei sedimenti;
  - - Conservare la sabbia per la sicurezza costiera;
  - - Prevenire fastidi agli utenti e alle comunità locali;
  - - Stimolare la differenziazione nello sviluppo morfologico.

A seconda che siano necessari disporre nelle dune di più o meno sedimenti verso il mare o verso terra, si può scegliere tra diverse misure e profili della spiaggia, che innescheranno meno o più cambiamenti in determinate aree.

Le conformazioni artificiali (Artificial Relief Features ARF) abbiamo detto che sono depressioni locali prive di vegetazione all'interno della duna con un'area nell'ordine di 20-400 m<sup>2</sup> e una profondità fino a 2 m. Intrappolano la sabbia e facilitano un aumento delle dinamiche locali della sabbia, creano differenziazione dell'altezza e condizioni al contorno variabili per lo sviluppo dell'habitat (tema A).

Un ARF è più efficace quando si trova sulla duna inferiore o sulla parte cacuminale della duna verso il mare, dove l'apporto di sabbia è maggiore. La forma / modello iniziale dell'ARF rimane visibile, almeno nei primi anni dopo la costruzione. Per stimolare ulteriormente un aspetto più naturale, il modello e la forma dell'ARF costruito dovrebbero essere il più vari possibile.

La vegetazione o un'altra misura come gli schermi di sterpi sono molto efficaci per intrappolare localmente grandi volumi di sabbia e sono essenziali per trattenere la nuova sabbia nella duna e per catturare la sabbia fornita dal trasporto eolico. In assenza di vegetazione viene catturata meno sabbia e un volume maggiore viene trasportato ulteriormente attraverso la spiaggia o lungo la costa e depositato altrove. Gli ARF sono per lo più privi di vegetazione e creano variazioni nel trasporto ulteriore della sabbia nella duna, dimostrando che un modello di vegetazione variabile stimola la differenziazione nello sviluppo morfologico nella duna.

### ***Sicurezza contro gli allagamenti e ottimizzazione del progetto***

Per quanto riguarda l'impatto della sicurezza contro le alluvioni e l'ottimizzazione del progetto, si possono trarre le seguenti conclusioni (Leenders et al., 2018):

- Le dune di Hondsbosche sono state progettate per l'attuale livello di sicurezza richiesto dalla legge, compreso un volume di compensazione per la subsidenza e l'innalzamento del livello del mare locale di 0,3 m nei prossimi 50 anni. Di conseguenza, il progetto iniziale ha un surplus di sicurezza positivo. Sulla base dei tassi di crescita delle dune osservati nei primi tre anni dopo la costruzione e della prevista deposizione di sedimenti negli anni a venire, si prevede che il tasso di crescita naturale delle dune tenga il passo con l'aumento livello del mare e subsidenza fino al 2050, mantenendo l'elevato livello di sicurezza iniziale, pertanto il volume di compensazione di 0,3 m di innalzamento del livello del mare applicato nel progetto si sarebbe potuto omettere. **Un presupposto importante è che la battigia, l'area intercotidale e la spiaggia siano mantenute al loro livello attuale da ripascimenti**, che è una pratica standard nei Paesi Bassi.
- Pertanto, in futuri progetti simili, potrebbe essere possibile ottenere una riduzione del volume nel progetto anticipando il tasso di crescita naturale delle dune. Poiché esiste una grande incertezza negli scenari di innalzamento del livello del mare, la necessità di ripascimenti aggiuntivi in caso di

aumento del livello del mare può ancora essere valutata come parte del programma di monitoraggio annuale e della gestione adattativa, consentendo una difesa costiera flessibile e adattabile.

- Poiché la sabbia spinta dal vento si deposita principalmente nelle parti inferiori del profilo, la costruzione iniziale di dune alte e strette al confine verso il mare è favorevole. I depositi eolici sul versante a mare di questa duna porteranno nel tempo ad un graduale innalzamento del livello di sicurezza.

### ***C Percezione della comunità locale e dei visitatori***

All'interno di questo terzo tema sono state affrontate tre domande, vale a dire

- in che modo le parti interessate sperimentano il trasporto di sabbia e il deposito di sabbia dietro la diga?
- come si relazionano le loro esperienze circa il trasporto e il deposito di sabbia con i dati monitorati?
- qual è il modo per ridurre il trasporto di sabbia e il deposito di sabbia dietro la diga (Legendijk, 2016)?

### ***Trasporto e deposito di sabbia monitorati ed esperti***

Prima della costruzione delle dune di Hondsbossche, 18 abitanti e altre parti interessate hanno espresso le loro preoccupazioni per il deposito di sabbia dietro la diga.

Sia le interviste che i risultati del monitoraggio mostrano che la quantità di sabbia depositata dietro la diga si è ridotta negli anni successivi alla costruzione. **La quantità di sabbia che soffia verso la diga e sopra la diga è stata massima durante la fase di costruzione (2014 e 2015).**

Un fatto interessante è che la quantità di sabbia mossa dal vento vicino a Camperduin stava già diminuendo dall'anno 2014. Questo perché un notevole trasporto di sabbia era presente prima dell'effettiva costruzione delle dune di Hondsbossche. La creazione di queste dune e (soprattutto) la semina dell'erba Ammofila hanno contribuito a intrappolare la sabbia e quindi a ridurre il trasporto della sabbia sin dalle prime fasi.

Per quanto riguarda la distribuzione attraverso l'arenile, i tassi di trasporto della sabbia sono più elevati nel lato mare dell'area dunale e diminuiscono nella direzione verso il terrapieno (vedi anche tema B).

Nel tempo, l'accumulo di sabbia sulle creste delle dune più interne (le dune alte) diminuisce, indicando che la sabbia viene trasportata meno lontano nell'entroterra, salvo eccezioni. Le misurazioni mostrano che quasi nessuna sabbia viene sollevata sopra la diga originale e la quantità di sabbia depositata dietro la diga diminuisce in modo esponenziale con la distanza interna.

Inoltre, le parti interessate intervistate hanno confermato che il trasporto di sabbia più elevato si verifica vicino alla spiaggia e alla prima fila di dune. Qui, la sabbia sollevata dal vento può dare fastidio ai ristoranti sulla spiaggia. All'interno della zona delle dune è stato talvolta riscontrato che la sabbia si accumula sulle piste ciclabili. Nell'area naturale dietro la diga (Harger- e Pettemerpolder) non è stata trovata quasi nessuna sabbia spinta dal vento.

Per quanto riguarda la distribuzione lungo la costa, la quantità di trasporto di sabbia è stata maggiore nella parte meridionale delle dune di Hondsbossche. Ciò è confermato anche dalle misurazioni LIDAR, che mostrano che l'accumulo di sabbia nelle dune è maggiore a sud che a nord. Vicino alla valle delle dune, la sabbia rimane intrappolata nell'acqua e non raggiunge le dune interne. La sabbia più grossolana delle dune settentrionali inoltre fa sì che la quantità di trasporto di sabbia rimanga limitata. I comuni sia a nord che a

sud delle dune di Hondsbosche non hanno ricevuto, o quasi, alcun reclamo per la sabbia. Quindi, nelle interviste non c'era differenza tra la parte nord e quella a sud dell'area.

Per quanto riguarda gli effetti locali si è riscontrato che in più punti si è verificato un accumulo di sabbia, in particolare sulla pista ciclabile nelle dune di Hondsbosche. Soprattutto nel primo anno dopo la costruzione, la quantità di sabbia sulla pista ciclabile era notevole. Spesso ciò è avvenuto in prossimità di un punto non vegetato tra le dune che si trovava verso il mare rispetto alla pista ciclabile (negli Artificial Relief Features). Diverse parti interessate hanno definito un fastidio l'accumulo di sabbia sulle piste ciclabili, che a volte causa la chiusura della pista ciclabile. Non solo la pista ciclabile, ma anche i sentieri che vengono utilizzati per accedere alla spiaggia sono stati talvolta ricoperti di sabbia. Ciò ha causato costi elevati per i Comuni, che sono responsabili della manutenzione di questi percorsi. La quantità di sabbia sulla pista ciclabile è diminuita dal primo anno dopo la costruzione e si prevede che questa quantità diminuirà ulteriormente nel tempo.

### ***Efficacia delle misure per ridurre il trasporto e il deposito di sabbia***

A causa delle preoccupazioni delle parti interessate che la costruzione delle dune di Hondsbosche potesse provocare il trasporto di sabbia dietro la diga, il progetto includeva misure per intrappolare la sabbia e ridurre i tassi di trasporto. L'efficacia di queste misure è descritta di seguito in base alle misurazioni e alle risposte alle interviste.

- La valle tra la diga e l'alta duna forma una zona cuscinetto per intrappolare la sabbia sollevata. Sebbene un po' di sabbia si sia accumulata sul lato verso terra della duna alta, solo una piccola quantità di sabbia è stata depositata sulla diga. E incidentalmente un po' di sabbia è stata registrata in cima alla diga o sul lato verso terra della diga. L'accumulo di sabbia sulla diga è stato maggiore a sud che a nord. In conclusione, la zona cuscinetto sembra essere efficace nell'intrappolare la sabbia.
- Balle di paglia sono state collocate nella zona cuscinetto tra l'alta duna e la diga, per intrappolare la sabbia. Poiché la quantità di sabbia depositata in questa valle era così bassa, tuttavia, non si può concludere se queste balle siano totalmente efficaci nell'intrappolare la sabbia. Hanno sicuramente funzionato come frangivento e hanno creato un'area riparata che ha stimolato la crescita della vegetazione.
- La pasta di carta è stata utilizzata per ridurre il trasporto di sabbia subito dopo la costruzione e prima che l'erba marram fosse piantata. La pasta di carta è stata depositata sulla sabbia per ridurre il trasporto della sabbia. Un anno dopo, alcuni resti di questa pasta di carta furono ancora trovati tra gli arbusti e l'erba del marram. La misura è stata considerata parzialmente efficace; l'efficacia era stata ridotta in modo significativo rompendo il rivestimento della pasta dovuto al passaggio con macchinari pesanti.
- Le specie Ammofile sono state piantate tra le dune per intrappolare la sabbia e sembra più vitale nella parte meridionale delle dune di Hondsbosche che nella parte settentrionale. Sul lato del mare, le Ammofile difficilmente riescono a tenere il passo con le elevate quantità di sabbia accumulata, consentendo alla sabbia di essere spinta verso l'interno. Tutti gli stakeholder hanno confermato che la graminacea è stata efficace nell'intrappolare la sabbia, già dal momento della semina. Alcune parti interessate notano che l'ammofila meno vitale nel nord intrappola meno sabbia rispetto all'ammofila vitale nel sud. Pertanto, si consiglia di considerare quali sono le migliori condizioni per piantare l'ammofila, per assicurarsi che le piante rimangano vitali.
- Diverse specie di arbusti sono state piantate sul lato verso terra delle alte dune. Tuttavia, la maggior parte di questi arbusti è morta. Solo l'olivello spinoso è sopravvissuto. Questi arbusti sono più vitali nel sud che nel nord. Le parti interessate affermano che gli arbusti aiutano davvero a intrappolare la sabbia.

- Le depressioni riparate hanno intrappolato più sabbia dopo la costruzione rispetto alle parti vegetate delle dune. Causano la dinamica del vento locale e influenzano il trasporto della sabbia a livello locale. Spesso queste depressioni protette mostrano sia accumulo che erosione e causano depositi di sabbia più a terra (sottovento).
- Nei casi in cui la depressione si trova in prossimità di una pista ciclabile, può causare depositi di sabbia sulla pista. Questo effetto può essere ridotto piantando parte della depressione riparata, ma sarebbe meglio non costruire nessuna di queste depressioni vicino a piste ciclabili (o altre parti dove la deposizione di sabbia non è apprezzata).
- Per stimolare la deposizione di sabbia sono stati utilizzati schermi realizzati con rami di salice. Gli schermi sono stati molto efficaci e spesso erano completamente ricoperti di sabbia (dopodiché non intrappolano più la sabbia). Avrebbero potuto essere utilizzati in modo più efficace posizionando nuovi schermi dopo che i primi erano stati coperti e posizionando schermi in posizioni strategiche per ridurre il fastidio (ad esempio vicino a ristoranti o sentieri sulla spiaggia).

### **Lezione generale appresa**

Quando un progetto combina diverse funzioni, è necessario fare dei compromessi. Le dune di Hondsbossche combinano sicurezza dell'acqua, valore ricreativo e valore della natura.

In più occasioni dovrai scegliere quale funzione prevale. Pertanto, anche se le diverse funzioni potrebbero essere valutate allo stesso modo, in alcune occasioni dovrai comunque fare una scelta.

### **Bibliografia e linkografia**

<https://www.EcoShape.org/en/cases/sand-nourishment-hondsbossche-dunes-nl/references/>

[Bodde, W., Groot, de A., Smits, N., Huiskes, R., Vries, de D., Kuiters, L., Leenders, J., Brandenburg, P., Wittebrood, M. and Goessen, P. \(2017\) Monitoringsrapportage 2016 \(in Dutch\)](#)

[Bodde, W., Jansen, M., Smit, M., Scholl, M., Lagendijk, G., Kuiters, L., Vries, de D., Kramer, H., Smits, N. and Leenders, J. \(2018a\) Monitoringsrapportage 2017 \(in Dutch\)](#)

[Bodde, W., Leenders, J., Verheijen, A. and Wegman, C. \(2018b\) Analyse effecten en maatregelen \(in Dutch\)](#)

[Groot, de A., Scholl, M. and Kuiters, L. \(2016\) Inventarisatie habitatkwaliteit \(in Dutch\)](#)

[Ijff, S., Arens, B. and Bodde W. \(2018\) Verstuiving Hondsbossche Duinen \(in Dutch\)](#)

[Lagendijk, O. \(2016\) Inventarisatie belevingsonderzoek \(in Dutch\)](#)

[Leenders, J., Bodde, W. and Smit, M. \(2016a\) Inventarisatie optimalisatiemogelijkheden \(in Dutch\)](#)

[Leenders, J. and Smit, M. \(2016b\) Inventarisatie maatregelen ontwerp \(in Dutch\)](#)

[Leenders, J., Wegman, C., Bodde, W. and Verheijen, A. \(2018\) Optimalisatie veiligheidsontwerp Hondsbossche Duinen \(in Dutch\)](#)

[Ouwerkerk, S., Leenders, J., Bodde, W., Lagendijk, G. and Ijff, S. \(2018\) Innovatieve kustversterking in de Hondsbossche Duinen \(in Dutch\)](#)

Vries, de S., Southgate, H.N., Kanning, W. and Ranasinghe, R. (2012) Dune behavior and aeolian transport on decadal time scales, Journal of Coastal Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2012.04.002>

Wal, van der D. (2004) Beach-Dune interactions in Nourishment areas along the Dutch coast, Journal of Coastal Research, vol 20, pp 317-325. [https://doi.org/10.2112/1551-5036\(2004\)20\[317:BIINAA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2112/1551-5036(2004)20[317:BIINAA]2.0.CO;2)