

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE**

*D.I.C.A.M. - STRADE*

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali

**TESI DI LAUREA**

in

**COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI**

**PROGETTAZIONE SENSIBILE AL CONTESTO  
DELL'ADEGUAMENTO DELL'ASSE VIARIO ESISTENTE  
NEL PARCO NATURALE DELL'ISOLA DELL'ASINARA (SS)**

CANDIDATO  
Francesco Solito

RELATORE:  
Dott. Ing. Cesare Sangiorgi

CORRELATORI  
Dott. Ing. Francesco Petretto  
Dott. Ing. Federico Irali

Sessione II

---

Anno Accademico 2010/2011



---

***Parole chiave:***

- *Asinara*
- *Context Sensitive Design*
- *Ingegneria naturalistica*
  - *Parco Natrale*

---

---

---

# INDICE

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>i</b>
--------------------------	----------

## **CAPITOLO 1:**

<b>INQUADRAMENTO DEL PARCO DELL'ASINARA.....</b>	<b>1</b>
--	----------

<b>1.1 INDIVIDUAZIONE DELL'AMBITO TERRITORIALE DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>1</b>
--	----------

<b>1.1.1</b> Storia dell'isola dell'Asinara.....	4
<b>1.1.2</b> Inquadramento geografico dell'isola e del parco dell' Asinara...	6
<b>1.1.3</b> Idrografia e idrologia.....	8
<b>1.1.4</b> Flora e vegetazione .....	14
<b>1.1.5</b> Fauna .....	16

<b>1.2 MOBILITA' E TRASPORTI: SITUAZIONE ATTUALE.....</b>	<b>22</b>
---	-----------

<b>1.2.1</b> Premessa.....	22
<b>1.2.2</b> Numero dei visitatori del Parco.....	22
<b>1.2.3</b> Mobilità e trasporti all'interno dell'isola dell'Asinara.....	23
1.2.3.a Mezzi attualmente utilizzati.....	23
1.2.3 b Infrastrutture portuali.....	24
1.2.3.c Infrastrutture sull'Isola.....	28
1.2.3.d Il tracciato.....	31
1.2.3.e Considerazioni conclusive sulla mobilità attuale e prospettive di intervento.....	32

<b>CAPITOLO 2: STATO DI FATTO.....</b>	<b>35</b>
--	-----------

<b>2.1 INTRODUZIONE.....</b>	<b>35</b>
------------------------------	-----------

<b>2.2 STATO ATTUALE.....</b>	<b>36</b>
-------------------------------	-----------

<b>2.3 CRITICITA' STRUTTURALI .....</b>	<b>39</b>
---	-----------

---

2.3.1 Vegetazione invasiva.....	41
2.3.2 Collasso opere d'arte.....	42
2.3.3 Recinzione invasiva.....	43
2.3.4 Smaltimento insufficiente delle acque superficiali.....	44
2.3.5 Pendenza eccessiva.....	45
2.3.6 Smottamento scarpata.....	46
2.3.7 Restringimento carreggiata e opere carenti.....	47
2.3.8 Sconnessioni e fessurazione del manto superficiale in .....	48
2.3.9 Eccesso di barriere di sicurezza.....	51
<b>2.4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>52</b>
<b>CAPITOLO 3: STATO DI PROGETTO.....</b>	<b>55</b>
<b>3.1 INTRODUZIONE.....</b>	<b>55</b>
<b>3.2 CONTEXT SENSITIVE DESIGN.....</b>	<b>56</b>
<b>3.3 TRACCIATO.....</b>	<b>58</b>
<b>3.4 CARREGGIATA.....</b>	<b>61</b>
<b>3.5 UTILIZZO DELLA PAVIMENTAZIONE PREESISTENTE... </b>	<b>62</b>
<b>3.6 OPERE DI ALLONTANAMENTO DELLE ACQUE.....</b>	<b>62</b>
<b>3.7 BARRIERE DI SICUREZZA.....</b>	<b>64</b>
<b>3.8 SMOTTAMENTO SCARPATE.....</b>	<b>66</b>
<b>3.9 ATTRAVERSAMENTI FAUNISTICI.....</b>	<b>68</b>
<b>3.10 FESSURAZIONE DELLA PAVIMENTAZIONE.....</b>	<b>69</b>
<b>3.11 PIAZZOLE DI SOSTA.....</b>	<b>69</b>
<b>3.12 MANUTENZIONE.....</b>	<b>71</b>
<b>3.13 OPERE DI SOSTEGNO.....</b>	<b>72</b>
<b>3.13.1 Calcolo muro di sostegno in gabbioni.....</b>	<b>72</b>
3.13.1.a Verifica al ribaltamento.....	79
3.13.1.b Verifica allo scorrimento.....	82
3.13.1.c Verifica della capacità portante terreno di fondazione	83
3.13.1.d Verifica di stabilità interna.....	86
3.13.1.e Verifica di stabilità globale.....	90

---

3.13.2 Rinverdimento del muro di sostegno in gabbioni.....	93
<b>CAPITOLO 4: DEFINIZIONE DELLE SEZIONI TIPO E DETTAGLI COSTRUTTIVI.....</b>	<b>97</b>
<b>4.1 INTRODUZIONE.....</b>	<b>97</b>
<b>4.2 SEZIONE TIPO IN RILEVATO.....</b>	<b>97</b>
4.2.1 Pacchetto stradale.....	98
4.2.1.a Strato di usura: Biostrasse.....	99
4.2.2 Sistemi di smaltimento delle acque superficiali.....	102
4.2.3 Pavimentazione nelle varianti.....	104
<b>4.3 SEZIONE TIPO A MEZZACOSTA.....</b>	<b>105</b>
<b>4.4 SEZIONE TIPO A MEZZACOSTA CON MURO DI SOSTEGNO IN GABBIONI.....</b>	<b>108</b>
<b>4.2 SEZIONE TIPO CON PIAZZOLA DI SOSTA.....</b>	<b>110</b>
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>115</b>
<b>ALLEGATI.....</b>	<b>117</b>

---

## **Introduzione**

*Il tema della sostenibilità ambientale è divenuto centrale in molteplici ambiti della vita civile, in particolar modo nel settore della progettazione stradale in quanto le infrastrutture viarie hanno un impatto elevato sia sul territorio che nella sfera sociale.*

*L'effetto generato dall'inserimento di un'opera, in questo caso una strada, in una zona scarsamente antropomorfizzata è elevato; ciò provoca nella gran parte dei casi la nota sindrome di Nimby. L'acronimo inglese "Not In My Back Yard", non nel mio cortile, è un effetto a catena che si dirama all'interno dell'ambiente sociale, tra i soggetti direttamente interessati alla realizzazione dell'opera. La sindrome indica un atteggiamento che si riscontra nelle proteste contro opere di interesse pubblico che hanno, o si teme possano avere, effetti negativi sui territori in cui verranno costruite.*

*Da questi concetti nasce la progettazione sensibile al contesto, la quale vuole coinvolgere direttamente la parti sociali interessate nelle scelte progettuali tramite la concertazione preventiva e con scelte puramente tecniche che si sposino con il contesto nel quale andrà inserita.*

*Alla luce di questa nuova concezione ambientale e sociale, lo scopo della presente tesi di laurea è stato quello di redigere un progetto per l'adeguamento funzionale della strada ubicata nel Parco Nazionale dell'Asinara, tenendo quindi in particolare considerazione le caratteristiche ambientali del territorio, ma garantendo, allo stesso tempo, caratteristiche prestazionali migliorative e una maggiore sicurezza per il traffico veicolare.*

*Per la redazione di tale elaborato è stato condotta preliminarmente una analisi di compatibilità ambientale dell'opera nel contesto territoriale esistente, tenendo in debito conto le esternalità prodotte sulle componenti paesaggistiche e naturalistiche del Parco.*

*Si sono quindi valutate soluzioni progettuali tese a minimizzare tali interferenze, anche nella fase di cantierizzazione, con lo scopo di*

*abbassare sensibilmente, in fase di esercizio dell' infrastruttura, la frammentazione territoriale degli habitat.*

*La metodologia adottata ricalca i principi e le procedure del Context Sensitive Design, sistema di progettazione che prevede per ogni pianificazione trasportistica e realizzazione stradale la dipendenza del processo costruttivo al contesto nel quale si sviluppa .*

*È stata condotta una approfondita analisi dello stato di fatto dell' infrastruttura da adeguare, considerandone le criticità funzionali e le interferenze ambientali presenti lungo l' asse stradale. Si è valutata la possibilità di effettuare una realizzazione ex-novo della strada oppure di operare un adeguamento funzionale della stessa su sede stradale esistente, evidenziando le criticità e gli aspetti positivi delle due scelte progettuali. Da questa attenta analisi comparativa, resa più facile grazie all'ausilio de software di progettazione stradale assistita CIVIL DESIGN 8 Prodotto da Digicorp Srl, si è proceduto quindi alla scelta di soluzioni tese a risolvere le carenze strutturali ed ambientali dell' infrastruttura, valutandone i benefici indotti.*

*Di rilevante importanza è stata inoltre la ricerca di materiali costruttivi idonei alla realizzazione del corpo stradale, il più possibile ecocompatibili e visivamente poco impattanti . La scelta è ricaduta sul “Biostrasse”, un conglomerato ecologico che è attualmente considerata l' unica tecnologia certificata ad “ Impatto Ambientale Zero ” grazie alla totale assenza di sostanze plastiche e derivati da carboni fossili non rilasciando quindi sostanze nocive nè per l' uomo nè per l' ambiente.*

*Un'altra soluzione valutata per migliorare la compatibilità ambientale e al tempo stesso per conferire stabilità al corpo stradale, è stata quella di prevedere l' utilizzo di gabbioni in pietrame invece dei muri di sostegno in cemento armato, poiché garantiscono parametri di qualità strutturale paragonabili e possono essere soggetti a rinverdimento attraverso la piantumazione di vegetazione autoctona, come ad esempio le talee.*

*La cantierizzazione è sicuramente l' aspetto della realizzazione di una infrastruttura stradale più impattante. In un cantiere tradizionale la*

*movimentazione di materiali ed il transito continuo di mezzi, provoca un significativo impatto sugli habitat, causando talvolta la rottura di delicati equilibri naturali . Si è previsto di riutilizzare parte dei materiali costituenti la pavimentazione stradale esistente per la realizzazione della nuova sede carrabile per rendere minimo ,quindi, il trasporto di materiale dalle cave di prestito.*

*Sono state definite infine le caratteristiche geometriche delle sezioni tipo dell' infrastruttura descrivendone i dettagli costruttivi sia per quanto riguarda i tratti da realizzare su sede stradale esistente, sia su quelli da realizzare ex-novo. Questi aspetti costruttivi, unitamente a tutti gli accorgimenti tecnici necessari per lo smaltimento ed il drenaggio delle acque meteoriche e di falda superficiale, sono tesi a conferire funzionalità e durata nel tempo alla opera da realizzare.*



## **CAPITOLO 1:**

### **INQUADRAMENTO DEL PARCO DELL'ASINARA**

#### **1.1 INDIVIDUAZIONE DELL'AMBITO TERRITORIALE DI RIFERIMENTO**

Verranno di seguito analizzati tutti gli ambiti disciplinari ritenuti essenziali ai fini dello Studio del territorio dell' Asinara, con particolare riferimento agli aspetti tecnico-territoriali, fisici, morfologici, ambientali e funzionali. Questo al fine di poter successivamente realizzare interventi migliorativi, efficaci e pienamente compatibili con il territorio. Individuare l'ambito territoriale di riferimento è il primo passo dello studio, in quanto, l' Isola dell'Asinara è inserita all'interno di un'area vasta di grande complessità ambientale e con importanti problemi di gestione e governo dei processi produttivi presenti.

La definizione corretta degli ambiti territoriali di riferimento per le attività di ricerca ed analisi propedeutiche alla definizione del quadro conoscitivo è da ritenersi parte fondante dello studio, in quanto condiziona l'individuazione di tutti gli input necessari alla formulazione delle proposte di intervento. Tuttavia l'individuazione dei perimetri delle aree ove è possibile individuare una forte interazione con l'area-parco e conseguentemente analizzare gli effetti dell'istituzione dell'area protetta in termini fisico-territoriali, urbanistici e socio-economici, è senz'altro un'operazione articolata e complessa.[1]

A tale proposito è importante sottolineare che la Legge 394/91, “*Legge quadro sulle aree protette*”, oltre a dettare i principi fondamentali per l'istituzione e la gestione delle aree naturali protette, indica i criteri per l'individuazione delle cosiddette *Aree Contigue* al parco, costituite dalle zone geograficamente limitrofe al territorio del parco delimitate sulla base di considerazioni tecnico-territoriali; la Legge dispone che l'individuazione di tali aree è affidata alla Regione di concerto con l'Ente Parco[6].

L'intento della legge è, evidentemente, quello di creare una sorta di “zona cuscinetto”, soggetta a particolari restrizioni, atta a “separare” il territorio del parco da quello esterno, il che spiega perché l'individuazione di tali aree sia spesso oggetto di acceso dibattito.[1]

La particolare conformazione morfologica del Parco dell'Asinara, in cui il territorio terrestre del parco è circoscritto all'isola e circondato da una perimetrazione marina, consente di affrontare il tema dell'area contigua in termini del tutto diversi rispetto ai tradizionali parchi terrestri. Infatti la “zona cuscinetto” è costituita in questo caso dal mare, mentre le interazioni più evidenti con l'antistante territorio della Provincia di Sassari sono affidate prevalentemente ai collegamenti navali con i porti di Stintino e Porto Torres.

In questo quadro è evidente che il territorio esterno all'area-parco potenzialmente più interessato dai meccanismi di trasformazione fisico-territoriale, urbanistica e socioeconomica indotti dall'attivazione del parco stesso, è quello dell'area costiera che va approssimativamente dal Comune di Stintino al comune di Castelsardo, con particolare evidenza in corrispondenza dei principali scali marittimi. Pertanto l'ambito territoriale di riferimento del Parco Nazionale dell'Asinara non sarà circoscritto ai soli confini dell'Isola, ma comprenderà, con livelli di approfondimento differenti, anche le aree costiere antistanti e una vasta porzione della provincia di Sassari. I diversi livelli di approfondimento dello Studio sono stati redatti Dall' Ente Parco nello “*Studio di fattibilità per l'attivazione del Parco dell' Asinara*”, considerando in particolare i tre ambiti territoriali specifici indicati di seguito:

- L'Isola dell'Asinara;
- Ambito territoriale di Ia fascia;
- Ambito territoriale di IIa fascia.

Gli ambiti territoriali di Ia e IIa fascia costituiscono l'area vasta del parco.

La differenziazione degli ambiti territoriali si ritiene necessaria in quanto ad essa corrisponde una diversificazione della ricerca in termini sia quantitativi (approfondimento) sia qualitativi (oggetto e/o obiettivi).[1]

In termini generali lo studio effettuato dall'ente parco nello studio di fattibilità afferma che che:

- Nel territorio del Parco dell'Asinara la ricerca è stata condotta con il massimo approfondimento possibile e ha riguardato tutti gli ambiti disciplinari ritenuti essenziali ai fini dello Studio, ossia aspetti tecnico-territoriali, fisici, morfologici, ambientali e funzionali;
- Nei territori di Ia fascia la ricerca ha riguardato prevalentemente gli aspetti infrastrutturali, urbanistici e socio-economici, allo scopo di evidenziarne le criticità e comprendere in quale misura la fruizione del parco può contribuire alla loro risoluzione, ed in quale misura tali criticità possono costituire un ostacolo al corretto funzionamento del parco;
- Nei territori di IIa fascia la ricerca è stata finalizzata alla conoscenza della realtà attuale e delle dinamiche in corso in termini prevalentemente socio-economici.

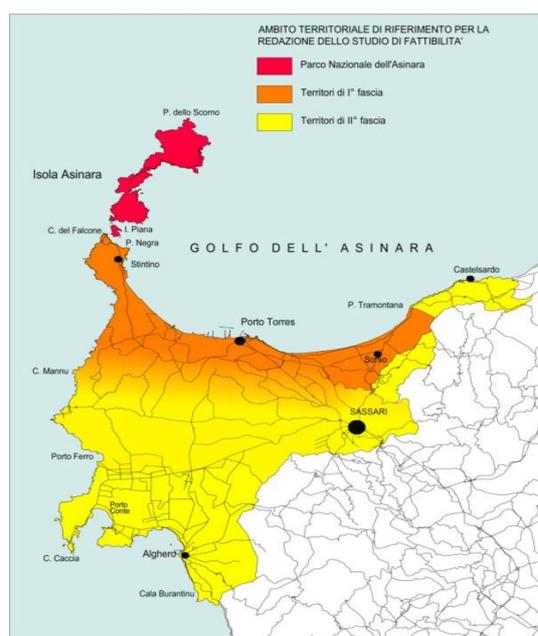


Figura 1.1 : Ambito territoriale di riferimento redatto dallo studio di fattibilità.

### 1.1.1 Storia dell'isola dell'Asinara

Tracce della presenza umana, databili intorno al Neolitico, ne segnalano l'antichità della frequentazione; i Romani la chiamarono prima *Herculis Insula* poi *Insula sinuaria*, sicuramente per via della sua forma sinuosa. Durante il periodo della dominazione catalano-aragonese sulla Sardegna (XIV-XVIII secolo) veniva indicata, nei documenti regi, con il toponimo *La Linayre*. Le prime costruzioni di un certo rilievo risalgono al XVII secolo quando gli aragonesi costruirono alcune torri di avvistamento, in particolare quelle di Cala d'Arena, di Cala d'Oliva e di Trabuccato. Dal 1720, dopo che la Sardegna fu ceduta ai Savoia, l'Asinara fu data in feudo a certo *Don Antonio Manca Amato*; ed in quel periodo l'isola cominciò a popolarsi di agricoltori e pastori sardi e pescatori liguri originari di Camogli. Nel 1842 diventò parte integrante del Comune di Porto Torres, all'epoca recentemente istituito. Nel 1885, a seguito del Decreto Regio n. 3183 emanato dal Re Umberto I, l'isola divenne proprietà demaniale. Il 22 giugno 1885 furono istituiti dal Governo italiano sull'isola un lazzaretto, in località *Cala Reale*, ed una colonia penale in località *Cala d'Oliva*. Le famiglie presenti sull'isola dovettero lasciare l'isola, 45 delle 54 famiglie provenienti dall'isola edificarono il paese di Stintino. Durante la I guerra mondiale nella stazione sanitaria transitarono circa 25.000 prigionieri di guerra austro-ungarici, costretti a rimanere sull'isola in osservazione sanitaria. Molti perirono di malattie e stenti e ora i loro resti riposano in un ossario costruito nel 1936 come alternativa alle fosse comuni nelle quali furono tumulati e cosparsi con abbondante calce. L'Asinara è rimasta chiusa al pubblico dal 1885 al 1999, in un isolamento totale rafforzato nei primi anni sessanta dall'istituzione del carcere di massima sicurezza in cui vennero internati brigatisti e mafiosi come Raffaele Cutolo e Salvatore Riina. All'inizio degli anni 90, per consentire un rapido spostamento da un complesso carcerario all'alto, venne costruita l'unica strada pavimentata dell'isola, che sarà l'oggetto di studio del presente elaborato[1]. Il 3 ottobre del

2002, grazie ad un decreto del Presidente della Repubblica, vengono istituiti il Parco Nazionale dell' Asinara e l'Ente Parco. Nel Maggio del 2008 l'Ente parco redige il piano del parco il quale fonda le sue peculiarità sulla densità di natura e storia.

Il 30 marzo 2009, dando seguito a quanto specificato dalla Giunta regionale con deliberazione n. 48/1 del 9 settembre 2008, il Servizio Territoriale Demanio e Patrimonio di Sassari ha affidato alla Conservatoria delle Coste la gestione dell'intero territorio e di tutti gli immobili dell'isola dell'Asinara di proprietà della Regione Autonoma della Sardegna. La maggiore sfida e preoccupazione della Conservatoria è quella di indirizzare una geografia del riuso per i patrimoni regionali in grado di conservare ed anzi rafforzare, proprio attraverso le finalità fruibili, l'atmosfera inconfondibile e atemporale che questi luoghi attualmente emanano.[4] Nel maggio del 2009 il comune di Stintino ha chiesto ufficialmente di essere inserito nell'Ente Parco. Stintino infatti è la località geograficamente più vicina all'Asinara ed il centro della quasi totalità dei traffici di passeggeri per l'isola[C]. Dal 2009 l'Università degli studi di Sassari ha intrapreso uno studio finalizzato alla riqualificazione architettonica dell'Isola, finalizzata alla conservazione di edifici di importante rilevanza storica. Questi potrebbero rappresentare, insieme alla alta naturalità dell'isola, motivo di attrazione turistica.



Figure 1.2 e 1.3: Residenze carcerarie dismesse di Tumbarino

### 1.1.2 Inquadramento geografico dell'isola e del parco dell' Asinara

L'isola dell' Asinara è situata all'estremità nord - ovest della Sardegna, tra i 40° 58' 57" presso punta Colondri ed i 40° 06' 13" presso punta Scorno latitudine nord, ed i 04° 14' 35" di Punta Salippi di longitudine est. L'isola ha una superficie di 51,230 km quadrati ed una lunghezza di circa 18 km. La sua larghezza varia dai 286,6 m di cala di Sgombro e i 6,5 km nella parte più settentrionale dell' isola. Il suo perimetro costiero é di 110,5 km. L'isola presenta una morfologia varia , il maggior rilievo é quello di punta della Scomunica con i suoi 408 metri, seguono la punta maestra di Fornelli (265 m), monte Ruda (215 m), punta Tumbarino (241 m) e punta Marcuzza (195 m), il che rende complessa la progettazione di una strada in tale ambito.

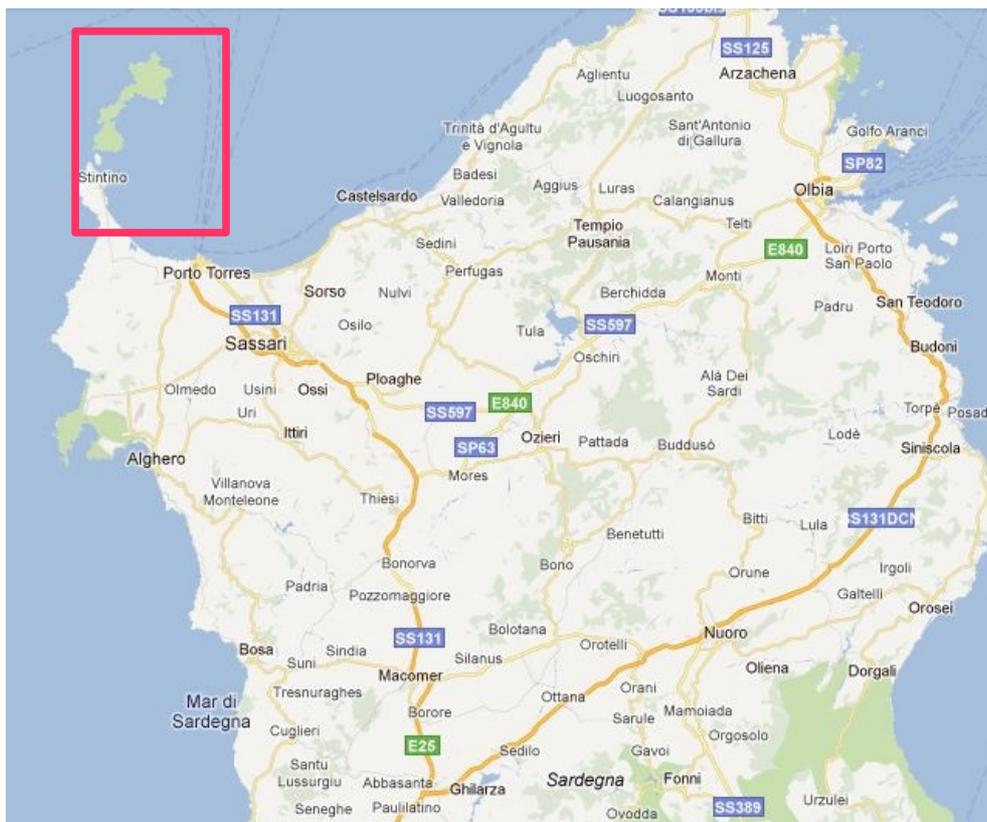


Figura 1.4: Localizzazione dell'isola dell'Asinara rispetto alla Sardegna

Degli oltre 50 chilometri quadrati, solo l'area circostante Elighe Mannu, dove esiste l'unica formazione boschiva a leccio, solo una piccola parte é

ricoperta da vegetazione arborea, le altre aree, caratterizzate da vaste superfici di roccia affiorante, presentano scarsa copertura a prevalente macchia arbustiva. L'isola é composta da quattro piccoli rilievi montuosi collegati da istmi. Il nucleo settentrionale é il maggiore, sia per estensione che per altitudine, ed infatti comprende il rilievo più alto di punta della Scomunica. Questo nucleo montuoso si raccorda con la piana di Campu Perdu: a sud di questo pianoro affiora il complesso scistoso del monte Ruda, il quale occupa una zona collinare di circa 2 chilometri quadrati, delimitata dall'istmo sottostante punta Marcuzza. In questo nucleo sono importanti i sistemi filoniani ed i depositi calcarei tirreniani. Nella parte centro - meridionale dell'isola, a sud della zona denominata Stretti, è situato un altro gruppo di rilievi, tra i quali spiccano quelli di Punta Tumberino, Punta Romasino e Guardia del turco. L'orientamento della linea di cresta di questo rilievo ricalca la direzione NO - SE comune ai rilievi di Capo Falcone e Monte Forte nella Nurra. Questo settore é delimitato dalle due insenature di Cala Sgombro di dentro e Sgombro di Fuori e risulta il punto meno largo dell'isola con 286 m.

Il parco dell'Asinara è diviso sostanzialmente in 3 zone di protezione:

- Zona 1: Di eccezionale interesse naturalistico, ambientale e paesaggistico (verde scuro)
- Zona 2: Di rilevante interesse naturalistico, paesaggistico e storico culturale (verde intermedio)
- Zona 3: Di rilevante valore paesaggistico, agricolo-ambientale e storico-culturale (verde chiaro)

La linea rossa rappresenta la viabilità primaria che sarà oggetto di studio nei prossimi capitoli.



Figura 1.5 : Zone di protezione attraversate dal tratto di infrastruttura oggetto di studio

### 1.1.3 Idrografia e idrologia

L'idrologia dell'Asinara non presenta caratteristiche peculiari a sé stanti ma rispecchia le principali caratteristiche idrologiche della Sardegna ed in particolare le caratteristiche delle zone costiere del Golfo dell'Asinara e del Golfo di Cagliari, per tale motivo si ritiene opportuno descrivere gli elementi principali che caratterizzano l'idrografia e l'idrologia della Sardegna.

Il clima della Sardegna, a causa della particolare posizione geografica, al centro del Mediterraneo, è influenzato dalla presenza del mare che

circonda l'isola e delle catene montuose continentali che condizionano il regime delle temperature e delle precipitazioni rispetto alle altre zone che si trovano alla stessa longitudine.

L'elevata variabilità sia spaziale sia temporale delle precipitazioni meteoriche, unitamente alla mancanza degli effetti di regolazione prodotti dalla presenza dei nevai-ghiacciai, caratterizza in modo determinante l'idrografia della Sardegna con corsi d'acqua a carattere torrentizio secchi nel trimestre estivo.

L'analisi dei dati raccolti negli annali del Servizio Idrografico, relativi alle precipitazioni "normali", intese come altezza di precipitazione mensile, evidenzia un valore medio di altezza di precipitazioni meteoriche maggiore nella zona orientale dell'isola, delimitata dalla linea spartiacque che attraversa nella direttrice nord-sud tutta l'isola, dal massiccio del Limbara attraverso il Monte Albo, il Monte Corراسi, il massiccio del Gennargentu fino ai monti della barbagia di Seui, ai monti dei Sette Fratelli e Villasimius. A parità di altitudine sia nei bacini occidentali sia orientali si rileva, nelle stazioni ubicate più a nord un valore maggiore di precipitazione. I valori medi annui delle precipitazioni meteoriche per le stazioni pluviometriche della Sardegna mostrano chiaramente la diretta proporzionalità con l'altitudine sul livello del mare, con valori minimi per le zone ad latitudini inferiori di circa 600 mm annui nei bacini occidentali (in alcuni bacini costieri del Golfo dell'Asinara si registrano valori di altezza di precipitazione media annua inferiori ai 500 mm) mentre i valori massimi (anche se non misurati) si hanno nel Gennargentu, pari a 1400 ÷ 1500 mm annui.

Alla citata variabilità delle precipitazioni meteoriche nelle diverse zone della Sardegna si aggiunge una notevole variabilità nei diversi mesi dell'anno, con precipitazioni praticamente nulle nel trimestre estivo (giugno – agosto) e nell'intero "semestre secco" (aprile – settembre) si registrano soltanto il 30 % delle precipitazioni complessive annue con il restante 70 % concentrato nel cosiddetto "semestre umido" (ottobre – marzo).

Ai fini della utilizzazione della risorsa, le precipitazioni meteoriche del semestre secco (30 %) risultano utilizzabili per diversi usi in misura assai limitata, a causa delle condizioni di umidità del terreno, ben lontano dalle condizioni di saturazione, tale da non consentire una infiltrazione efficace ai fini della ricarica delle falde sotterranee né da favorire un apprezzabile scorrimento superficiale.

I deflussi del semestre secco si registrano quasi esclusivamente nel periodo primaverile a causa delle condizioni di saturazione del terreno con una parte preponderante degli afflussi meteorici che contribuisce essenzialmente ad alimentare l'umidità del suolo.

L'analisi dei dati relativi alle precipitazioni di tutte le stazioni della Sardegna nel periodo 1921 – 1975 mostra una variabilità notevole da un anno all'altro, con alcune stazioni pluviometriche che hanno registrato valori inferiori ai 200 mm annui ed addirittura valori prossimi ai 100 mm annui nelle zone sud-orientali dell'isola. I minimi valori registrati si riferiscono all'anno 1945, mentre valori assolutamente elevati si sono registrati nel 1937 nella stazione di Genna Silana, pari a 2400 mm e in numerosi anni si sono registrati valori superiori ai 1500 mm annui, nelle stazioni di Dorgali, Campeda, Alà dei Sardi, Desulo ed alcune stazioni vicine a queste ultime.

I valori registrati nel periodo 1921-1975, assunto come riferimento idrologico per la predisposizione del “Piano delle Acque” della Regione Autonoma della Sardegna, sono modificati negli anni '80 e '90, in cui si registrano diminuzioni delle precipitazioni medie annue in tutto il territorio regionale e periodi di siccità eccezionalmente prolungata (3-4 anni consecutivi) che non si erano verificati nell'ultimo secolo.

La variabilità nel tempo delle precipitazioni, le notevoli differenze del regime delle precipitazioni tra le diverse zone, unitamente all'esiguità delle risorse sotterranee, stimate complessivamente in appena 30 mc per tutto il territorio regionale da uno studio del Prof. Pietracaprina, impone la necessità di accumulare la risorsa idrica per i diversi usi dell'uomo in serbatoi artificiali, tali da consentire una regolazione pluriennale che

tenga conto delle possibilità che si verificano periodi di siccità di durata prolungata.

Le condizioni geomorfologiche della Sardegna, caratterizzata dalla prevalenza di suoli impermeabili e terreni prevalentemente collinari con circoscritte zone pianeggianti, non favoriscono la formazione ed alimentazione delle falde sotterranee e se si considera che le condizioni descritte per la Sardegna si ritrovano anche sull'isola dell'Asinara è difficile ipotizzare una ricchezza d'acqua nel sottosuolo dell'Asinara.

Per tutto il territorio regionale, i deflussi sono influenzati dalle caratteristiche geologiche e morfologiche e risentono della assenza di nevai-ghiacciai e della loro capacità di regolazione, presentando una stretta correlazione con il regime degli afflussi. L'isola dell'Asinara essendo inserita tra le zone in cui si registrano i minori livelli di afflussi meteorici della Sardegna, presenta deflussi assolutamente bassi essendo influenzati questi ultimi, oltreché dall'altitudine media e dalla latitudine, dalle condizioni geologiche, dalla copertura del suolo, dalla pendenza ed esposizione dei versanti. Sebbene, a fronte di un afflusso medio di 780 mm annui per l'intero territorio regionale, si registri un deflusso di 260 mm annui, con coefficiente di deflusso 0,33, si registrano situazioni completamente diverse da bacino a bacino, con bacini idrografici in cui si misurano coefficienti di deflusso anche pari a  $0,60 \div 0,70$  e bacini costieri in cui, a fronte di afflussi meteorici superiori ai valori medi registrati nelle stesse zone, si registrano deflussi addirittura nulli. Un esempio è il bacino di Santa Margherita vicino a Cagliari, in cui per diversi anni si sono registrati valori anche di 700 mm annui, con deflussi praticamente nulli.

Le principali caratteristiche dell'idrologia della Sardegna risultano un utile riferimento poiché, essendo pochissimi i dati misurati sull'Asinara e non sufficienti per un approfondito studio idrologico, si possono effettuare stime sui dati idrologici sull'isola dell'Asinara riferendosi alle condizioni idrologiche generali della Sardegna nel suo complesso.

L'isola dell'Asinara, essendo situata nella zona nord-occidentale della Sardegna, appartiene a quelle zone costiere in cui si registrano i valori di afflusso meteorico minimi di tutta la Sardegna. La presenza per oltre un secolo di strutture carceraria ha impedito lo svolgimento di approfonditi studi idrologici sull'isola dell'Asinara, tuttavia, nel periodo 1951-1975 sono stati raccolti i dati climatici essenziali, tra cui le precipitazioni meteoriche, a cura del Servizio meteorologico dell'Aeronautica Militare. A conferma delle ipotesi di inserimento dell'Asinara tra le zone idrologiche della Sardegna nord-occidentale, i valori medi precipitazione mensile ed i valori medi annui si presentano decisamente tra i più bassi registrati in Sardegna e, se si tiene conto che in tutta l'area del Mediterraneo si è registrata una diminuzione delle precipitazioni negli anni '80 e '90 di circa il 30 %, i valori medi mensili misurati nel periodo 1951-1975 , seppure riferiti ad oltre un ventennio, devono essere valutati tenendo conto delle consistenti riduzioni degli afflussi meteorici registrate nell'ultimo ventennio. Lo studio delle altezze di precipitazione mensili dell'isola dell'Asinara è l'unico strumento disponibile per stimare i deflussi sulla base dei quali ipotizzare la disponibilità idrica dell'isola con le informazioni disponibili.[1]



Figura 1.6 : Localizzazione di corsi d'acqua e laghi all'interno del parco dell'Asinara

#### 1.1.4 Flora e vegetazione

Il territorio dell'isola dell'Asinara, ha subito un'intensa manomissione antropica, tanto da essere considerato in uno stato d'impovertimento continuo, sia come vegetazione sia come cenosi. Le sue coste, sono parzialmente integre, mentre alcune zone interne, per gli utilizzi agricoli, forestali e zootecnici, esercitati non sempre con metodi razionali, sono alquanto degradate e depauperate. Questo fatto però non altera né riduce il valore fondamentale delle risorse botaniche dell'isola. Inoltre, l'ecosistema, se adeguatamente protetto, avrà la capacità di rigenerare i diversi fattori naturali. La necessità di tutelare l'Isola si rende quanto mai indispensabile perché scompaiono o rischiano di scomparire numerose specie botaniche e le associazioni vegetali rischiano di frammentarsi ulteriormente fino alla estinzione di alcune di esse. Lo studio più completo sulla flora dell'Asinara è quello del Bocchieri E. (Webbia 42 (2) 227-268. 1988). Secondo l'Autore i taxa spontanei dell'isola dell'Asinara, sono distribuiti in 91 famiglie e 336 generi. L'entità degli endemismi è di 29 entità, cioè circa il 5% della flora in generale. Le famiglie numericamente più rappresentate sono le Compositae o Asteracee, le Leguminose e le Graminacee, seguite dalle Umbrellifere e Scrofulariacee, che complessivamente rappresentano circa la metà della flora spontanea dell'Isola. [1]



Figura 1.7a e 1.7b : Specie leguminose e ombrellifere presenti sull'isola

La vita degli organismi vegetali e la loro distribuzione vengono condizionate in maniera determinante dal clima ed è riconosciuto che i principali caratteri della vegetazione sono l'espressione dell'insieme dei fattori climatici.



Figura 1.8a, 1.8b, 1.8c : Specie asteracee e graminacee presenti sull'isola

Tra gli elementi climatici che si sono prese in esame si ricordano le precipitazioni, le temperature e la ventosità. Si è tentata altresì una valutazione fitoclimatica della stazione in funzione del bilancio idrico e degli elementi climatici. Si è concluso affermando che:

- si tratta di un tipo di clima “semiarido con piccola eccedenza idrica nel periodo invernale e deficit estivo prolungato”;
- secondo la classificazione del Pavari il clima rientra nella zona fitoclimatica del “Lauretum” sottozona calda;
- sulla base del bilancio idrico calcolato secondo Thorntwaite esso ricade nel secondo mesotermico di tipo semiarido con piccolo surplus idrico invernale.

### 1.1.5 Fauna

Nell'isola dell'Asinara sono state osservate 78 specie di vertebrati terrestri appartenenti alle classi degli Anfibi, dei Rettili, degli Uccelli e dei Mammiferi. L'entità numerica delle specie riscontrate, non fornisce una misura dell'importanza che l'isola riveste per la riproduzione della fauna selvatica. E' generalmente riconosciuto che essa ha un'importanza a carattere internazionale perché garantisce un habitat ideale per la riproduzione di specie rare, in via d'estinzione o comunque protette. Le fonti storiche e le testimonianze raccolte, così come peraltro è avvenuto in altre zone della Sardegna, riportano che nell'Asinara si riproducevano importanti specie come i mufloni, il cervo sardo, la foca monaca e il falco pescatore.



Figura 1.9 a, 1.9 b : Muflone e Falco pescatore

Attualmente, vi sono altre specie a rischio come il gabbiano corso che nell'isola trova ancora un sicuro rifugio e maggiore protezione rispetto alle altre zone costiere della Sardegna.

Per quanto riguarda le specie estinte, non si hanno notizie precise sul cervo, mentre si hanno testimonianze della presenza del cinghiale, del muflone e della foca monaca. Il muflone era già estinto alla fine del XIX secolo, mentre la foca monaca e il falco pescatore risulta che si siano estinti intorno alla metà del secolo appena trascorso.

Alcune di queste specie sono state reintrodotte nell'isola con risultati definibili positivi per quanto riguarda il muflone e negativi per il cinghiale.

I mufloni, infatti, sono stati introdotti negli anni cinquanta prelevandoli da altre zone dell'isola madre.



Figura 1.10 a, 1.10 b : Cervo sardo e foca monaca

La mancanza di predatori e una certa forma di protezione hanno consentito la riproduzione degli animali fino al raggiungimento di una consistenza da più parti stimata in un numero sicuramente superiore ai 500 individui e forse vicini al migliaio di esemplari. Dal punto di vista genetico si è riscontrata un'affinità con le altre popolazioni di mufloni della Sardegna, tanto che, come di fatto è già più volte avvenuto, possono rappresentare un serbatoio per il ripopolamento di altre aree dell'Isola madre. Allo stato attuale, si deve operare con prudenza perché

è possibile che siano stati colpiti dal morbo della lingua blu (blue tongue), che ha colpito tutti gli ovini della regione e che essi possano comportarsi da portatori sani. In realtà, si ha notizia che nell' Asinara si siano evidenziati, già nello scorso anno, alcuni casi di pecore infette e che anche nella popolazione dei mufloni si sia registrata una mortalità più elevata. Ciò fa pensare, anche se occorre verificarlo con molta attenzione, che in una certa misura il muflone sia a rischio d'infezione. L'introduzione del cinghiale è avvenuta negli anni '60 con l'introduzione di una coppia proveniente dalla Sardegna e precisamente dalla zona di Cossoine[1].



Figura 1.11 : Specie di cinghiale introdotta nel Parco

I cinghiali si sono riprodotti in misura consistente per la mancanza di predatori naturali e per la sua prolificità. Non è da escludere che siano state effettuate altre introduzioni con animali d'origine non sarda. Si parla infatti, senza che vi siano notizie certe dell'introduzione d'animali di provenienza maremmana che presentano dimensioni corporee più elevate e, soprattutto, una maggiore fertilità. I cinghiali sono anche venuti a contatto con i suini che vi erano allevati anche allo stato brado o semi-brado ed è molto probabile che vi siano stati incroci con i maiali. Dalle discussioni con il personale che ha operato nell'isola e che ha assistito a diverse catture, si fa riferimento ad un cinghiale particolare, morfologicamente diverso da quello sardo e che presenta evidenti segni morfologici del maiale tanto da parlare proprio di “maiali rinselvaticiti”. Date le caratteristiche genetiche dei cinghiali, e in

particolare la loro prolificità, si ritiene necessario intervenire seguendo due possibili strade alternative. La prima, consiste nel valutare l'ipotesi di eliminare completamente la specie e quindi sostituirli con altri cinghiali di provenienza sarda, previa verifica del patrimonio genetico.

Il secondo obiettivo potrebbe essere quello di conservare la razza attuale, in quanto si tratta di una sorta d'adattamento alle condizioni dell'isola tenendo conto della storia che la ha caratterizzata in tutto il secolo appena trascorso. In ogni caso, non si può non rilevare l'urgenza di intervenire con tempestività per limitarne drasticamente il numero.

Dai vari sopralluoghi effettuati in diverse parti dell'isola si sono riscontrati gli effetti negativi dell'azione sul suolo in quanto smuovendone lo strato superficiale alla ricerca di radici per cibarsene, durante la stagione piovosa creano condizioni favorevoli per l'erosione. Inoltre impediscono qualsiasi forma di disseminazione di specie importanti quali il leccio e altre specie arboree autoctone. Non va trascurata anche l'azione di disturbo che compiono nelle radure e nelle zone pascolive dove con il ribaltamento degli strati si limita l'accrescimento delle erbe a discapito delle popolazioni quali capre, pecore e asini. Il numero di cinghiali oggi presente è al momento stimato in almeno 1000 cinghiali. Un'altra specie introdotta nell'isola e che non è presente nella Sardegna è la gazza “pica pica”. Si afferma che sia stata originariamente introdotta dal continente da alcuni carcerati che la hanno allevata come animale da compagnia. Si è adattata alle condizioni dell'isola e si è dimostrata capace di riprodursi senza problemi particolari. Per questa specie è segnalata un'azione di disturbo per altre specie di uccelli in quanto si comporta da predatore di nidi. Fra le altre specie che sono state introdotte e che sono al limite fra lo stato selvatico puro e l'allevamento si deve ricordare l'asinello bianco e le altre popolazioni asinine. Si stima una presenza d'asini di circa 280 capi di cui 200 circa asini grigi e 80 asini bianchi.[1] Vi sono poi alcuni gruppi di capre, stimati in complessivi 600 capi che, ormai da diversi anni, vivono

lontano dall'uomo e che ha preso un habitus selvatico analogo a quello dei mufloni.



Figura 1.12: Asino bianco sardo;



Figura 1.13: nel suo habitat naturale nel parco dell'Asinara

La stima della consistenza degli animali è stata effettuata tenendo conto delle osservazioni da noi effettuate e, soprattutto, dalle indicazioni fornite dalle persone che lavorano e/o abitano l'isola. Si auspica il ritorno della foca monaca e del falco pescatore. Ciò potrà avvenire se si creeranno quelle condizioni di quiete che sono necessarie per la riproduzione e una di presenza di pesci tali da soddisfarne i bisogni alimentari.

La composizione sistematica è la seguente:

- **Anfibi:** sono presenti 3 specie appartenenti all'ordine degli Anuri (pari al 33% sul totale sardo);

- **Rettili:** sono 11 le specie presenti (55% del totale sardo), di cui 1 specie appartenente all'ordine dei Testudinati e 10 agli Squamati;
- **Uccelli:** delle 57 specie osservate per un totale pari al 34,7% delle specie sarde, 30 appartengono all'ordine dei Passeriformi e 27 ad altri ordini. Tra i non Passeriformi osserviamo: 5 Charadriiformi, 3 Procellariiformi, 4 Falconiformi, 2 Galliformi, 2 Gruiformi, 2 Strigiformi, 1 Accipitriformi, 1 Anseriforme, 1 Apodiforme, 1 Caprimulgiforme, 1 Columbiforme, 1 Coraciiforme, 1 Pelecaniforme, 1 Podicipediforme, 1 Procellariiforme.
- **Mammiferi:** per quanto riguarda i Mammiferi sono presenti 12 specie (57,1% del totale sardo): 3 Insettivori, 1 Lagomorfi, 5 Roditori, 1 Carnivoro e 2 Ungulati.

Lo status faunistico delle 83 specie d'anfibi, rettili, uccelli e mammiferi osservate nell'area è esposto nella tabella seguente ed è confrontato con i rispettivi dati che riguardano la Sardegna.

	ASINARA				SARDEGNA				Quoz. Asinara /Sardegna
	<i>Specie riproducentesi</i>				<i>Specie riproducentesi</i>				
	Certa %	Prob %	Poss.	Tot.	Certa %	Prob %	Poss.	Tot.	
<b>ANFIBI</b>	3			3	9			9	33,33%
	100,0%	0,0%	0,0%		100,0%	0	0		
<b>RETTILI</b>	11			11	17	2	1	20	55,00%
	100,0%	0,0%	0,0%		85,0%	10,0%	5,0%		
<b>UCCELLI</b>	44	6	7	57	140	8	2	150	29,33%
	77,2%	10,5%	12,3%		93,3%	5,3%	1,3%		
<b>MAMMIFERI</b>	12			12	20	1		21	57,14%
	100,0%	0,0%	0,0%		95,2%	4,8%	0,0%		

Tabella 1.1: Status faunistico dei vertebrati terrestri (esclusi i Chiroterri) appartenenti alle classi Anfibi, Rettili, Uccelli e Mammiferi.

Complessivamente il 39% delle specie sarde (esclusi i chiroterri) è presente nell'area di studio.[1]

## **1.2 MOBILITA' E TRASPORTI: SITUAZIONE ATTUALE**

### **1.2.1 Premessa**

La situazione della mobilità dell'Asinara può essere descritta partendo dalla valutazione dell'attuale domanda di visitatori, le infrastrutture nell'area vasta, i collegamenti esistenti tra la Sardegna e l'Isola nonché gli spostamenti interni ad essa. Per poter avere, quindi, un quadro chiaro ed esaustivo del sistema è necessario analizzare:

- L'attuale domanda dei visitatori del Parco, legata evidentemente alla limitazione del numero massimo giornaliero;
- Le infrastrutture di trasporto, nella zona nord-ovest della Sardegna, che permettono di raggiungere Porto Torres e Stintino, quindi i traghetti per l'Asinara;
- Lo spazio da poter dedicare alla sosta di veicoli privati in prossimità dei porti di partenza per l'Isola;
- L'odierno servizio di traghetti;
- I porti di partenza ed arrivo dei traghetti stessi;
- Il sistema di trasporto interno all'Isola al giorno d'oggi.

Uno studio su Area Vasta è opportuno per assicurare delle opportune condizioni di spostamento per i flussi diretti al Parco.

### **1.2.2 Numero dei visitatori del Parco**

La determinazione della domanda di visitatori è relativamente semplice in quanto, come già detto, condizionata dalla limitazione della presenza contemporanea fissata a circa 500 unità. A questi visitatori giornalieri vanno aggiunte 20-30 persone circa, impegnate per il controllo e le operazioni di gestione del territorio, per studi, ricerca, ecc, più quelle previste per la pescaturismo, il diving e la vela, per un totale massimo di 900 persone compresenti. In realtà attualmente tale cifra è lungi dall'essere raggiunta, e solamente in alcuni periodi dell'anno si

raggiunge un consistente numero di compresenti (300-400), mentre nel periodo invernale il numero di visitatori è notevolmente inferiore.[1]

### **1.2.3 Mobilità e trasporti all'interno dell'isola dell'Asinara**

L'Isola dell'Asinara, al giorno d'oggi, non è accessibile ai mezzi privati e non è dotata di servizi di trasporto pubblico; ci sono dei mezzi utilizzati dagli impiegati che lavorano sull'Isola (prevalentemente Jeep) e dei pullman in dotazione alla stessa società che gestisce i traghetti, i quali effettuano dei percorsi a servizio dei turisti completando il servizio di trasporto dalle navi. Allo stato attuale i mezzi di trasporto collettivo integrano l'offerta delle navi dando vita ad un sistema rigido nel quale il turista viene trasportato lungo itinerari e con orari prestabiliti. I visitatori, quindi, sono soggetti a spostamenti programmati e orari vincolati per cui la fruibilità dell'Isola risulta fortemente condizionata.

#### **1.2.3.a Mezzi attualmente utilizzati**

Sull'Isola sono presenti dei mezzi gestiti dai lavoratori impiegati sull'Isola, prevalentemente Jeep, che risultano in grado di percorrere tutte le strade e pertanto vengono utilizzati, tra l'altro, per i servizi di controllo e manutenzione.



Figura 1.15 a : Jeep attualmente utilizzate per la mobilità all'interno del parco

I veicoli che trasportano i turisti sono di lunghezza pari a 12 m ed hanno una capacità di 55 persone;effettuano il percorso da Fornelli a Cala D' Oliva assicurando il trasferimento dal punto di sbarco alle varie località dell'Isola.



Figura 1.15 b : “Trenino turistico” utilizzato per la mobilità all'interno del parco

### **1.2.3 b Infrastrutture portuali**

I punti di attracco interessati dal traffico marino da e verso il parco sono attualmente cinque: Porto Torres e Stintino sulla terra ferma e tre sull'Asinara: approdo di Fornelli, approdo de La Reale e approdo di Cala d'Oliva. Questi ultimi rappresentano anche i punti di partenza dei percorsi turistici.

- **Approdo di Fornelli**

E' costituito da un molo a "L" in pietrame di granito e cls armato, lungo m. 71 per una larghezza di m. 5,00.

La profondità massima del fondale è pari a m. 2,50. Lo sviluppo del banchinamento utilizzabile è di m. 60.



Figura 1.16: Approdo di Fornelli

La struttura si trova in precario stato di manutenzione con diffuse sconessioni superficiali dei lastroni di granito e con fenomeni di erosione e cavernamenti nella parte subacquea della struttura. La criticità è rappresentata dall'esposizione ai venti di SE, in particolare, e dalla presenza di affioramenti rocciosi di massi in prossimità della banchina e dalla totale assenza di servizi di acqua potabile e di illuminazione. Gli interventi necessari riguardano il consolidamento strutturale, la realizzazione di

impianto idrico ed elettrico, la risistemazione funzionale degli ancoraggi delle catenarie e dei parabordi, il completamento dei servizi a terra e la risistemazione ambientale area circostante.

- **Approdo de La Reale**

E' costituito da un molo a "T" in pietrame di granito e cls armato, lungo m. 86 per una larghezza di m. 6,00. La profondità massima del fondale è pari a m. 3,80.[1]



Figura 1.17: Approdo di La Reale

Lo sviluppo del banchinamento utilizzabile è di m. 140. La struttura si trova in discreto stato conservativo, ma presenta alcune localizzate sconessioni superficiali dei lastroni di granito. Sono presenti fenomeni di degrado nella testata in cls armato, malgrado interventi di manutenzione straordinaria eseguiti nel corso del 2003.

E' in corso di esecuzione un progetto di banchinamento con struttura leggera. La criticità è rappresentata dal ritrovamento nei pressi del molo di relitti di età romana, dalla totale assenza di servizi di acqua potabile e dalle interferenze con il vicino campo boe per imbarcazioni a vela.

Gli interventi necessari riguardano il consolidamento strutturale della testata del molo, la realizzazione dell'impianto idrico, la risistemazione funzionale degli ormeggi.

- Approdo Cala d'Oliva



Figura 1.18: Approdo di Cala Reale

E' costituito da una banchina in cls ed elementi prefabbricati subacquei monobar-frangiflutto interno di pietrame scapolo. E' lungo m. 53. La profondità massima del fondale è pari a m. 4,00. Lo sviluppo del banchinamento utilizzabile è di m. 65.

Il frangiflutto interno ha le dimensioni di m 30,00x10,00. La struttura è in buono stato, ad eccezione del frangiflutto interno, per la ristrutturazione eseguita nel 2001 che ha permesso anche la realizzazione di impianto idrico ed elettrico.

La criticità è rappresentata dalla notevole esposizione ai venti del primo quadrante, dal degrado del frangiflutto interno, dall'interramento della vecchia darsena e dalla scarsa illuminazione. Sono necessari interventi di protezione a mare dai venti dominanti, la risistemazione ed eventuale ampliamento del frangiflutto interno e la realizzazione di darsena interna per piccole imbarcazioni.

### 1.2.3.c Infrastrutture sull'Isola



Fig. 1.19: Asse viario principale pavimentato (rosso) e strade secondarie sterrate (arancione)

Dal punto di vista infrastrutturale l'unica via esistente è una direttrice pavimentata da Nord a Sud, in calcestruzzo costituita da un massetto avente spessore medio di circa 20 cm, rinforzata con doppia rete

elettrosaldata, di lunghezza pari a circa 25 Km, che collega Fornelli a Cala Reale e quest'ultima a Cala D'Oliva[1].

La strada può essere divisa in due tratti omogenei per quanto riguarda le caratteristiche plano-altimetriche; da Fornelli a Cala Reale di lunghezza 14 Km circa, da Cala Reale a Cala D'Oliva di lunghezza 9 Km circa. Il primo tratto si presenta con pendenze longitudinali limitate, raggi di curvatura relativamente alti e larghezza media pari a circa 5,50 – 6,00 m; il secondo, al contrario, è caratterizzato da pendenze maggiori, raggi inferiori ma larghezza media ancora nell'ordine dei 5,50 – 6,00 m.

Da sottolineare la presenza, lungo parte dell'infrastruttura, degli allargamenti in curva, evidentemente di fondamentale importanza per la percorribilità da parte dei veicoli di lunghezza notevole. Questi allargamenti si sono dimostrati però inadeguati per la circolazione di mezzi di lunghezza pari a 12 m, soprattutto nel tratto Cala Reale – Cala D'Oliva, dovuta alla larghezza limitata della strada pavimentata ed alla grandezza degli automezzi attualmente adottati. In questo tratto costiero, specialmente nei tratti in curva, va inoltre evidenziata la mancanza di adeguati elementi di ritenuta per i veicoli stradali. Il tracciato, inoltre, presenta in alcuni tratti cedimenti strutturali con conseguente pericolo di collasso della carreggiata sotto il peso di veicoli aventi elevata massa complessiva a pieno carico.

La strada pavimentata non è dotata, altresì, di opere idrauliche per la difesa del corpo stradale e della superficie di rotolamento ma si presenta in buone condizioni e senza apprezzabili fenomeni di degrado per gran parte del suo sviluppo. Sull'Isola dell'Asinara sono presenti un gran numero di strade sterrate, alcune di queste assicurano dei collegamenti strategici sia per quanto riguarda la vita sull'Isola sia per la fruibilità del Parco da parte dei visitatori. Due direttrici risultano di particolare importanza: il collegamento Cala D'Oliva – Elighe Mannu, di lunghezza pari a circa 5 Km, ed il collegamento Cala D'Oliva – Cala Dei Ponzesi, che si sviluppa per circa 1,5 Km. Il primo, oltre a servire gli insediamenti di Case bianche ed Elighe Mannu, dove sussiste il cantiere di

riforestazione, assicura anche l'accesso alla zona di punta Fregata, importante per la particolare panoramicità e soprattutto per le attività di sorveglianza del parco facilitate dalla posizione ideale; il secondo permette il raggiungimento di una località appetibile data la bellezza del luogo e la possibile balneazione.

Le condizioni delle due direttrici sono ben diverse. Mentre, infatti, tra Cala D'Oliva ed Elighe Mannu la strada è sufficientemente larga per il transito di un veicolo (larghezza variabile da 3,00 a 4,50 m) ed ha un andamento altimetrico difficile con pendenze intorno al 15%, il tratto di viabilità tra Cala D'Oliva e Cala dei Ponzesi presenta larghezza nell'ordine dei 2,50 m ed è difficilmente percorribile anche da mezzi quali le Jeep. Le caratteristiche geometriche delle altre strade, lo stato di conservazione e la percorribilità sono variabili di percorso in percorso, in generale i tracciati si presentano con larghezze limitate (circa 2,5 m) e forte irregolarità superficiale. Nella zona Nord dell'Isola si trovano alcuni punti di difficile transito, anche per mezzi adatti come le Jeep, dovuto alla geometria della strada; nelle zone di Cala reale e Fornelli al contrario alcuni itinerari



Fig. 1.20: Tratto impervio da Cala Reale a Cala d'Oliva

risultano agevolmente percorribili, data la loro dislocazione in zone pianeggianti, ma anch'essi sterrati. Sull'Isola sono presenti numerosi sentieri, di larghezza limitata ed in passato utilizzati per attività prevalentemente agricole, che versano in cattive condizioni di

manutenzione e, una volta sistemati, potrebbero costituire una ottima risorsa per eventuali attività escursionistiche. In alcuni punti dell'Isola, prevalentemente nei piazzali e nelle strade ubicate nei centri urbani, si nota la presenza di tratti di pavimentazione degradati a causa della mancanza di manutenzione. Dalle considerazioni riportate in questo paragrafo emergono le condizioni attuali delle infrastrutture esistenti, le potenzialità e, nella parte finale, i fenomeni di degrado riscontrati. Tutte queste considerazioni rappresentano il punto di partenza per la successiva fase progettuale nella quale si definiranno gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria che, associati alla corretta scelta dei mezzi di trasporto collettivo, permetteranno di apportare miglioramenti alla viabilità dell'Isola.

#### 1.2.3.d Il tracciato

Il tracciato è decisamente tortuoso con bassi raggi di curvatura nonostante l'orografia dell'isola, almeno nel primo tratto, non sia particolarmente avversa.



Fig. 1.21: Tratto iniziale della infrastruttura

Sono stati riscontrati degli allargamenti in curva necessari al transito di mezzi di lunghezza maggiore di 5 metri e non vi è la presenza di banchine laterali.

Sostanzialmente il tracciato, allo stato di fatto, non rispetta in quasi nessun tratto le verifiche standard prescritte dalla normativa del 5/11/2001 per una strada di tipo F. Tali verifiche sono state condotte mediante l'ausilio del programma di progettazione assistita *CIVIL DESIGN 8*, considerando una velocità massima di progetto pari a 50 Km/h.

La maggiore criticità riscontrata, lungo l'infrastruttura, è rappresentata dalla estrema variabilità della larghezza della carreggiata che va da un minimo di 4 metri ad un massimo di 6 metri.

### **1.2.3.e Considerazioni conclusive sulla mobilità attuale e prospettive di intervento**

Nei paragrafi precedenti si sono analizzati i mezzi e le infrastrutture attualmente utilizzati per l'espletamento del servizio di trasporto all'interno dell'Isola.

Si sono messe in evidenza le capacità dei mezzi, le caratteristiche geometriche e strutturali nonché lo stato di conservazione delle infrastrutture, mettendo in evidenza i fenomeni di degrado e quindi la necessità di un intervento di manutenzione.

L'interazione tra il trasporto navale e terrestre attuale dà luogo ad un sistema che risulta rigido sia per quanto concerne gli spostamenti sia per gli orari; il visitatore attualmente non può decidere i luoghi in cui recarsi e la tempistica ma è vincolato dall'organizzazione degli spostamenti.

Si sono individuate, altresì, quattro direttrici di particolare importanza per la fruibilità ed il controllo del parco e per queste sono state riportate le condizioni allo stato attuale.

Nella fase successiva, di progettazione della mobilità, sarà necessario tener conto di tutti gli aspetti analizzati nella fase conoscitiva per poter utilizzare al meglio le risorse disponibili e pianificare un nuovo sistema dei trasporti. Il progetto mirerà a migliorare la situazione appena fotografata, con particolare attenzione all'opportunità di aumentare il

grado di fruibilità dell'Isola, il livello di servizio e le condizioni di sicurezza degli spostamenti assicurando però al contempo un minimo impatto ambientale sia degli eventuali interventi sia del sistema nelle fasi di esercizio.[1]



## **CAPITOLO 2: STATO DI FATTO**

### **2.1 INTRODUZIONE**

Di seguito sarà analizzato lo stato di fatto in cui si trova attualmente l'infrastruttura, con particolare attenzione alle criticità che essa presenta sia dal punto di vista strutturale che da quello ambientale. La direttrice dell' isola si sviluppa dal punto più a sud della stessa in prossimità dell'approdo di Fornelli, fino alla località di Cala d'Oliva, lungo un percorso di circa 25 Km. Il tratto di strada oggetto di studio, parte dalla località di Fornelli fino ad arrivare alla località di Tumbarino seguendo un tracciato di circa 10 Km[1].

Principalmente, le criticità strutturali sono da attribuirsi ad una scarsa o assente manutenzione della strada e anche al fatto che essa sia stata costruita in maniera non idonea al contesto territoriale. Parte del problema è rappresentato dall'assenza di opere di smaltimento dell'acqua superficiale in quanto la strada esistente non presenta una pendenza trasversale adatta all'allontanamento delle acque né tantomeno opere quali tombini,cunette,ecc.. Si sono verificate problematiche relativi al collasso di muri di sostegno e di vegetazione invasiva all'interno della carreggiata. Inoltre lungo il tracciato vi sono tratti che presentano una pendenza eccessiva (>10%), restringimenti della carreggiata o fenomeni di fessurazione del massetto di calcestruzzo che ne costituisce parte della pavimentazione.

Dal punto di vista ambientale si è riscontrata la presenza di una eccessiva distribuzione delle barriere di sicurezza,soprattutto nella prima porzione da Fornelli a Tumbarino e nessuna opera per l'attraversamento faunistico[2].

E' stata realizzata una tavola (Tav.2), nella quale vengono localizzate e descritte tutte le criticità trovate lungo lo sviluppo dell'infrastruttura.

## 2.2 STATO ATTUALE

Il tracciato di tale strada non rientra in alcuna tipologia prevista dal DM del 5/11/2001 riguardante le norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, solo per tratti localizzati è assimilabile a una strada locale extraurbana di tipo F, mentre per quasi tutto il suo sviluppo si avvicina maggiormente ad una viabilità di servizio.

Il tracciato si presenta nel primo tratto non particolarmente tortuoso e con raggi di curvatura relativamente elevati, quasi tutti superiori al raggio minimo di curvatura per una strada di tipo F previsto dal DM del 5/11/2001 che è pari a 20 m. Nel secondo tratto, quello che va da Cala Reale a Cala d'Oliva, al contrario, esso presenta pendenze elevate, ben superiori al 10% e raggi di curvatura decisamente ridotti. Tale conformazione dell'infrastruttura comporta una notevole difficoltà per i mezzi turistici come i bus, nella percorrenza della stessa. Sono stati riscontrati anche alcuni allargamenti in curva ma non sufficienti a garantire standard di comfort e sicurezza accettabili. In questo secondo tratto va inoltre evidenziata la mancanza di elementi di ritenuta per i veicoli stradali in particolare nei tratti aventi sezione a mezza costa e in curva. Le barriere di sicurezza sono presenti nella zona compresa tra Fornelli e Cala Reale e sono state realizzate o in pietra locale o in acciaio. Le prime, nonostante il minor impatto visivo rispetto a quelle tradizionali, non garantiscono un adeguato livello di ritenuta. Le seconde, invece, garantiscono maggiore sicurezza rispetto alle precedenti, ma al contempo, essendo l'acciaio un materiale non compatibile con il contesto, risultano mal inserite dal punto di vista paesaggistico. Lungo il tracciato non sono stati riscontrati elementi necessari allo smaltimento delle acque meteoriche quali cunette lato strada o fossi di guardia, inoltre la sede stradale non possiede una pendenza trasversale adeguata per consentire il deflusso dell'acqua ai lati della carreggiata.

Lungo l'infrastruttura non vi è la presenza di segnaletica orizzontale e, in molti tratti con pendenze elevate, è carente di segnaletica verticale che indica la situazione di pericolo. Per quanto riguarda la carreggiata, essa ha una larghezza complessiva estremamente variabile che oscilla tra un minimo di 4.5 m ad un massimo di 6.50 m in corrispondenza di alcuni allargamenti presenti in curva. Tale situazione è estremamente pericolosa in quanto nei tratti più stretti possono nascere conflitti tra mezzi percorrenti la strada in senso di marcia opposto.

La pavimentazione è costituita da un massetto in calcestruzzo rinforzato con una doppia rete elettrosaldada di spessore pari a 20 cm, anche esso variabile da sezione a sezione a causa della elevata erosione superficiale causata dallo scarso smaltimento delle acque. Nella parte inferiore invece presenta uno strato di fondazione presumibilmente dello spessore di 40/50 cm in misto granulare [4][5]. Non è stata riscontrata inoltre la presenza di strati di usura realizzati in conglomerato bituminoso, come viene fatto tradizionalmente, nella parte superficiale della stessa. Questa mancanza, nonostante le basse velocità di progetto, inficia notevolmente sulla sicurezza del tracciato soprattutto in caso di strada bagnata in quanto è praticamente assente una adeguata macro rugosità superficiale capace di aumentare la aderenza della pavimentazione.

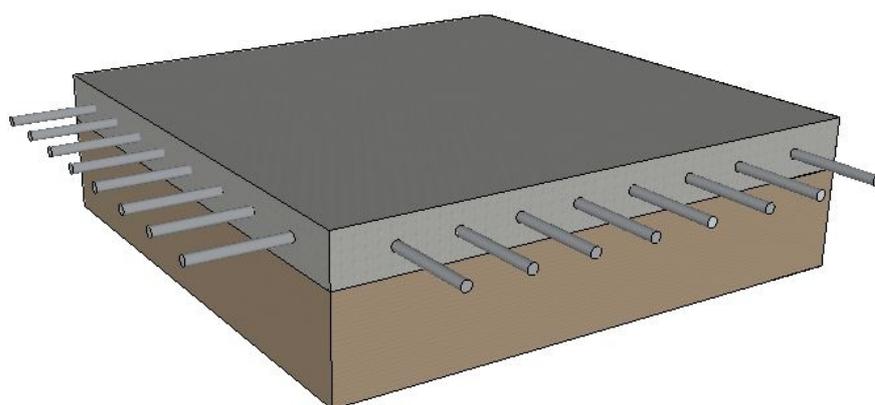


Fig.2.1 Pacchetto della pavimentazione allo stato attuale

Quando venne costruita tale strada non si fece particolare attenzione agli standard geometrici descritti nella normativa, in quanto, l'infrastruttura

era concepita esclusivamente come strada di servizio atta a collegare i diversi complessi carcerari.



Fig. 2.2 Fase di realizzazione del massetto in calcestruzzo della pavimentazione

Per la costruzione della strada si optò per questa ipotesi progettuale con lo scopo di non danneggiare troppo l'ambiente in fase di cantierizzazione, e per questo fu stata scartata l'ipotesi di utilizzo di conglomerati bituminosi da mettere in posa a caldo. Tale problema al giorno d'oggi, grazie alle nuove tecnologie, è ovviabile in quanto si dispone di numerosi conglomerati, alcuni anche con totale assenza di bitume, i quali possono essere messi in opera a temperature più basse, non disturbando quindi in maniera significativa l'ambiente circostante.

La pavimentazione presenta tratti localizzati degradati a causa della mancanza, negli anni, di una adeguata manutenzione. Questo fenomeno è riscontrato soprattutto nei piazzali e nelle vicinanze dei centri abitati, e riduce notevolmente il comfort di moto e la sicurezza nella percorrenza del tracciato.

### 2.3 CRITICITA' STRUTTURALI

In questo paragrafo si elencano e descrivono tutte le criticità strutturali riscontrate lungo lo sviluppo dell'infrastruttura. Alcune di queste sono attribuibili all'assenza di manutenzione protratta per un lungo periodo di tempo, mentre altre a carenze progettuali. Si ricorda che tale strada venne concepita esclusivamente come viabilità di servizio per lo spostamento tra i vari complessi carcerari presenti sull'isola, quindi non venne rispettata quasi nessuna prescrizione delle normative allora vigenti.

Nella tavola 2, presente in allegato, sono state localizzate le varie criticità presenti allo stato attuale lungo il percorso da Fornelli a Cala d' Oliva. Di seguito vengono elencate le problematiche presenti:

1. Erosione superficiale dovuta a ruscellamento
2. Roccia affiorate
3. Erosione marina
4. Roccia affiorate
5. Roccia affiorate
6. Vegetazione invasiva
7. Erosione superficiale dovuta a ruscellamento
8. Erosione superficiale dovuta a ruscellamento
9. Collasso opere d'arte
10. Recinzione invasiva
11. Smaltimento insufficiente acque superficiali
12. Smaltimento insufficiente acque superficiali
13. Pendenza eccessiva >10 %
14. Carenza opere di protezione
15. Carenza opere di protezione
16. Pavimentazione sconnessa
17. Pendenza eccessiva >10 %
18. Smottamento scarpata
19. Smaltimento insufficiente acque superficiali
20. Smottamento scarpata

21. Pendenza eccessiva >10 %
22. Restringimento carreggiata e opere carenti
23. Sconnessioni e fessurazione del manto superficiale in cls
24. Roccia affiorante
25. Roccia affiorante
26. Roccia affiorante
27. Roccia affiorante
28. Roccia affiorante
29. Erosione superficiale dovuta a ruscellamento
30. Roccia affiorante
31. Roccia affiorante
32. Roccia affiorante
33. Erosione superficiale dovuta a ruscellamento
34. Erosione superficiale dovuta a ruscellamento
35. Roccia
36. Pendenze elevate con Erosione superficiale dovuta a ruscellamento
37. Pendenze elevate con Erosione superficiale dovuta a ruscellamento
38. Pendenze elevate con Erosione superficiale dovuta a ruscellamento

Questa lista è stata stilata contestualmente al piano del parco, citato nel primo capitolo, redatto dal Prof. Maciocco dell'università degli studi di Sassari. Di seguito verranno analizzate le problematiche relative esclusivamente alla viabilità principale, ossia quelle sottolineate, in quanto l'oggetto dello studio si focalizza sull'unica strada pavimentata presente sull'isola.

### 2.3.1 Vegetazione invasiva

Tale problematica è sicuramente da attribuirsi ad una mancata pianificazione ed attuazione di un piano di manutenzione ordinaria atta al controllo di eventuali ostacoli presenti sulla carreggiata.

Essendo il contesto fortemente invasivo, dal punto di vista vegetativo, devono essere previsti interventi periodici di manutenzione mirati allo sgombero della carreggiata da eventuali ostacoli presenti su di essa.



Figura 2.3: collegamento stradale a Fornelli, con evidente necessità di manutenzione.

### 2.3.2 Collasso opere d'arte

In alcune zone localizzate dell'infrastruttura si è constatato il crollo di opere d'arte quali muri di sostegno.



Fig.2.5 : Crollo muri perimetrali



Fig. 2.6 : Crollo muri perimetrali

Da tali carenze strutturali ne conseguente un pericolo di cedimento della carreggiata sotto il peso di veicoli aventi elevata massa complessiva a pieno carico.

Ricordiamo che per lo più sull'isola transitano bus aventi lunghezza di circa 8 metri messi a disposizione dalle agenzie turistiche presenti nella zona.

Il crollo di muri perimetrali nelle immediate adiacenze della carreggiata può altresì causare la presenza di pietrame all'interno della stessa, condizione questa che pregiudica considerevolmente la sicurezza del moto.



Fig.2.7: Crollo muro perimetrale

### **2.3.3 Recinzione invasiva**

E' una problematica localizzata specialmente in prossimità dell'ex-carcere di Fornelli, in particolar modo nelle adiacenze degli alloggi per le guardie carcerarie. Tale recinzione occupa circa 1 metro della carreggiata stradale, riducendone ulteriormente la larghezza con conseguente pericolo per i veicoli in transito. Tale criticità è abbastanza comune lungo l'infrastruttura e potrebbe essere attribuita al fatto che quando venne costruita tale strada essa dovesse essere esclusivamente una viabilità di servizio per collegare i vari complessi carcerari, quindi nella

sua costruzione non si è prestata particolare attenzione a far sì che la carreggiata fosse libera da qualsiasi ostacolo per i veicoli in transito.

#### **2.3.4 Smaltimento insufficiente delle acque superficiali**

In quasi tutta la lunghezza della strada non sono presenti opere per lo smaltimento delle acque superficiali quali ad esempio arginelli o cunette, fatta eccezione per zone particolarmente vicine alla costa o a piccoli corsi d'acqua. La pavimentazione lungo l'intero sviluppo dell'infrastruttura è sprovvista di adeguata pendenza trasversale necessaria all'allontanamento delle acque meteoriche dalla carreggiata.



Fig. 2.8 Evidente carenza di opere di smaltimento delle acque a lato strada

Questa mancanza favorisce il ristagno delle acque in superficie causando una situazione potenzialmente dannosa per la sicurezza della circolazione.

Questa carenza, soprattutto in curva, può causare una riduzione dell'aderenza già minima in quanto non vi è la presenza di uno strato di usura sulla sommità del pacchetto stradale.

Tale fenomeno, inoltre, può causare l'innescarsi di un processo di erosione superficiale dovuto alla elevata salinità delle acque meteoriche.

### 2.3.5 Pendenza eccessiva

Tale criticità è localizzata prevalentemente nel tratto costiero da Trabuccato a Cala D'Oliva. Sono riscontrate pendenze massime dell'ordine del 13-14%, quindi ben superiori della pendenza massima consentita dal DM del 5/11/2001 che, per una strada di tipologia F, è pari al 10%.

Questa problematica è causa di pericolo per i mezzi in transito in particolare modo per quelli pesanti. In caso di strada bagnata, data l'assenza di una adeguata micro e macro rugosità della pavimentazione superficiale, si può verificare una perdita di aderenza, in più tali pendenze si manifestano in tratti non rettilinei aumentandone quindi la pericolosità.

Nel punto n°13 (Tav.2) in particolare, vi è la presenza di alcuni organi di ritenuta decisamente inappropriati, in quanto costruiti in muratura e con una altezza che può essere facilmente valicata anche da un mezzo che percorre tale tratto a bassa velocità.



Fig. 2.9: Organi di ritenuta inappropriati

Inoltre, alcune zone particolarmente vicine alla costa che presentano tale problematica, risentono anche del fatto che il moto ondoso, infrangendosi sulla costa, fa sì che si depositi sulla carreggiata pendente uno strato di “melma” decisamente scivolosa.

### 2.3.6 Smottamento scarpata

Con il termine smottamento, si indicano piccole frane di tipo superficiale, composte principalmente di materiali incoerenti o resi tali dall'effetto dell'acqua e della pendenza del versante.

Tale fenomeno è presente nell'infrastruttura in tratti dove essa costeggia alture particolarmente pendenti, costituite da materiali incoerenti tendenti al rotolamento. Data l'assenza di sistemi per la protezione della carreggiata dalla caduta di detriti essi si riversano sulla carreggiata causando un rischio per la sicurezza della circolazione.

In fase progettuale, qualora per le norme vigenti nel parco fosse vietata la costruzione di reti per la protezione della carreggiata dai detriti, sarebbe opportuno indicare tale pericolo con apposita segnaletica.



Fig. 2.10: Organi di ritenuta inappropriati e presenza di detriti nella carreggiata

Si è rilevato un punto localizzato dove si avverte maggiormente questa problematica, mostrato nella figura seguente.



Fig. 2.11: tratto dove maggiormente si è riscontrata la presenza di detriti in carreggiata

### 2.3.7 Restringimento carreggiata e opere carenti

La infrastruttura, lungo il suo sviluppo, presenta una larghezza della carreggiata estremamente variabile, si va da un minimo di 4.5 metri ad un massimo di 6.50.



Fig. 2.12: Restringimento della carreggiata

Nei tratti di minore larghezza quindi, nel caso di circolazione in entrambi i sensi, possono nascere conflitti tra i veicoli e in punti localizzati l'impossibilità di transitare senza avere la necessità di andare fuori strada.

### **2.3.8 Sconnessioni e fessurazione del manto superficiale in calcestruzzo**

In alcuni punti dell'Isola, prevalentemente nei piazzali e nelle strade ubicate nei centri urbani, si nota la presenza di tratti di pavimentazione degradati a causa della mancanza di manutenzione; le illustrazioni seguenti ne sono un esempio.



Fig.2.13: fenomeni di degrado sulla direttrice Cala Reale – Cala D'Oliva

Tali fenomeni fessurativi sono dovuti ad un cedimento dello strato di base posto al di sotto del massetto in cls e probabilmente alla cattiva messa in opera della pavimentazione.

Questo fenomeno è particolarmente pronunciato in zone vicine ai centri abitati dove si nota anche la presenza di erosione superficiale della superficie viabile.

A causa del degrado della pavimentazione, e probabilmente di una poco attenta messa in opera dei giunti di dilatazione tra i vari masseti in

calcestruzzo, alcuni di questi si sono staccati, favorendo così la crescita di arbusti all' interno di queste fessure.

Come si evince dalle immagini sono necessari interventi di manutenzione onde evitare un definitivo ammaloramento della infrastruttura.



Fig. 2.14 : crescita vegetale tra blocchi di calcestruzzo



Fig. 2.15: pavimentazione all'interno del centro abitato con evidente necessità di manutenzione.

Queste fessure sono difficilmente attribuibili a fenomeni di fatica in quanto il traffico circolante è relativamente basso.



Fig. 2.16 : fenomeni di degrado presso Cala d'Oliva



Fig. 2.17: fenomeni di degrado presso Cala D'Oliva

### 2.3.9 Eccesso di barriere di sicurezza

Le criticità ambientali riscontrate lungo l'infrastruttura sono principalmente da attribuire all'eccesso di barriere di sicurezza presenti in particolar modo nel tratto iniziale della strada.[4]



Fig. 2.18: presenza di barriere in acciaio che crea impatto visivo

È noto che un eccesso di barriere di ritenuta rende l'infrastruttura viaria una barriera fisica per l'attraversamento degli animali, soprattutto nel caso in cui non vi siano apposite strutture per l'attraversamento faunistico. La morfologia del terreno nelle immediate adiacenze della infrastruttura non giustifica la scelta di installare tali barriere in quanto non vi sono punti pericolosi o posti da proteggere. Un discorso diverso invece va fatto là dove le barriere di ritenuta sono necessarie, come ad esempio a monte di un muro di sostegno, dove è concreta la possibilità di uscire fuori strada e di cadere nel dirupo.

La presenza eccessiva di tali barriere in acciaio inoltre, considerato che la strada si trova all'interno di un parco, costituisce anche un inquinamento di tipo paesaggistico. Tale problema, in sede progettuale, potrebbe essere mitigato sicuramente eliminando le barriere in tratti ove non sono presenti ostacoli laterali alla carreggiata, e mettendo in opera barriere protettive a basso impatto visivo tipo *metalwood*.



Fig. 2.19: barriere in legno e metallo Metal-wood

## 2.4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'agenzia conservatoria delle coste della regione Sardegna ha emesso in data 7 Maggio 2010, una ordinanza che disciplina la circolazione veicolare sulle strade dell'isola dell'Asinara in correzione ad una precedente ordinanza del 23 marzo in quanto si sono riscontrati notevoli problemi legati alla sicurezza della circolazione.

Tale ordinanza prescrive il limite di circolazione ai veicoli aventi una lunghezza maggiore di 8 m in quanto le condizioni della infrastruttura non sono in grado di garantire gli standard di sicurezza necessari alla circolazione di mezzi aventi lunghezze superiori.

Tale decreto delinea altresì la necessità di prescrivere limiti alla circolazione di veicoli non adibiti al trasporto di persone aventi massa complessiva a pieno carico superiore alle 3,5 tonnellate nel tratto di strada che collega le località “Cala Reale” e “Cala d’Oliva”, e alle 6,5 tonnellate nel tratto di strada che collega le località “Cala Reale” e “Fornelli”.

Esso consente la libera circolazione dei trenini turistici di cui al Decreto del Ministero dei Trasporti 15 marzo 2007, n. 55.

Il decreto prevede che la nuova regolamentazione della circolazione sarà resa nota agli utenti della strada mediante installazione della regolamentare segnaletica stradale, in conformità a quanto previsto dal Titolo II° del D.P.R. n. 495 del 16 dicembre 1992.[5]



## **CAPITOLO 3 : STATO DI PROGETTO**

### **3.1 INTRODUZIONE**

Dopo una attenta analisi dello stato di fatto dell'infrastruttura, sono state valutate le varie modifiche realizzabili sulla stessa, al fine di rendere la viabilità principale dell'Asinara più fruibile e utilizzabile al pubblico, più sicura e più confortevole. Si è cercato di sviluppare, al contempo, il lavoro di progettazione tale da essere sensibile al contesto, cercando, per quanto possibile, di minimizzare gli impatti sull'ambiente circostante.

In questo capitolo vengono espone le ipotesi progettuali prese in considerazione nello studio di fattibilità, motivando le scelte intraprese per la realizzazione dell'infrastruttura. Queste motivazioni sono di carattere funzionale e ambientale, spiegando il motivo per il quale sono state effettuate alcune scelte costruttive al posto di altre. Ne è un esempio la scelta dell'uso di trincee drenanti al posto di tombini di drenaggio, come ad esempio, il perchè si è deciso di utilizzare la pavimentazione preesistente come fondazione per la nuova. Sono, inoltre, proposte delle soluzioni alle criticità emerse nel corso della progettazione, mantenendo sempre come obiettivi centrali il problema della sicurezza e sostenibilità ambientale.

Per realizzare il progetto si è utilizzato il software di ausilio alla progettazione stradale *Civil Design 8*; mediante tale programma è stato possibile editare un tracciato stradale partendo da un modello digitale del terreno DTM, realizzato sulla base di riferimenti cartografici. È stato possibile, inoltre, creare agevolmente tutti gli elaborati necessari ad un progetto stradale come, il quaderno delle sezioni e il profilo altimetrico. Tale programma, ha consentito, altresì, di eseguire tutte le verifiche prescritte dalla normativa vigente circa la sicurezza stradale.

### 3.2 CONTEXT SENSITIVE DESIGN

Sono descritti di seguito gli interventi da realizzare al fine di rendere la viabilità principale dell'Asinara praticabile, godibile e compatibile con il contesto territoriale. La metodologia usata per la realizzazione di tali interventi ricalca principi e procedure di un sistema di progettazione, tanto efficace quanto innovativo, che garantisce la massima compatibilità ambientale dell' infrastruttura con il territorio: il Context Sensitive Design.

Negli ultimi anni si è avuto un notevole incremento dell'attenzione istituzionale verso le problematiche ambientali e di sviluppo sostenibile, con la comparsa di numerose norme riguardanti la salvaguardia dell'ambiente.

L'inserimento di una infrastruttura nel territorio, sia essa di nuova realizzazione o in ammodernamento, implica la trasformazione di parti di esso fino a quel momento destinate a determinati usi, in elementi infrastrutturali a sviluppo lineare o puntuale, aventi le finalità del sistema di trasporto di cui fanno o faranno parte. L'esempio più classico è quello di un campo agricolo che diviene parte di una strada o l'estensione di un sedime aeroportuale su un'area di cava dismessa.

Le nuove funzionalità che assumono le aree adibite ad infrastrutture di trasporto richiedono che le interrelazioni e gli equilibri territoriali esistenti restino garantiti anche nel nuovo scenario territoriale. A tal fine, la progettazione dei nuovi assetti deve prendere in considerazione le esternalità prodotte dagli elementi territoriali in grado di interagire tra loro e redigerne un bilancio in cui non vi sia, nel breve o nel lungo periodo, il danneggiamento di uno di essi. Il territorio è ,infatti, esso stesso frutto delle interrelazioni di cui sopra e, come tale, deve permanere o mutare senza che gli equilibri siano alterati, nemmeno nel transitorio realizzativo.

Il corretto inserimento di una infrastruttura nel territorio è intrinsecamente subordinato al soddisfacimento di determinati requisiti

che la rendono anche compatibile con lo stesso. Gli aspetti della compatibilità sono legati alle esternalità della infrastruttura in esame ed avvertite dagli elementi territoriali interessati, adiacenti o meno, e dalle specie che li occupano o, comunque, presenti sul territorio. Se in passato la compatibilità ambientale di un'opera assumeva più che altro i contorni del rispetto paesistico, oggi oltre a questi, entrano in gioco gli inquinanti atmosferici, idrici ed acustici, l'impiego di risorse per la sua costruzione ed esercizio e la frammentazione territoriale degli habitat.

Vi è poi, però, il piano della compatibilità direttamente stabilito dai fattori naturali riguardanti l'uomo e le specie animali e vegetali viventi di un territorio. Ne è un esempio il fatto che, nonostante i limiti imposti agli inquinanti atmosferici, il trend delle patologie umane ad essi associati sia in aumento, questo indica che tali limitazioni non sono corrette o che non sono imposti correttamente.

Analogamente, la graduale scomparsa di determinate specie da un habitat territoriale suggerisce che, la pianificazione territoriale e le opere di mitigazione poste in opera con l'infrastruttura viaria non sono corrette o sufficienti affinché ciò non accada [1].

Per una progettazione delle infrastrutture sostenibili, è necessario tenere conto, sia nella identificazione delle tipologie d'opera, sia nella scelta dei tracciati, dei principi dettati da questa nuova concezione dell'ambiente circostante.

Una riflessione di particolare interesse riguarda gli interventi di miglioramento ambientale che possono essere sviluppati in relazione ai lavori di ammodernamento ed adeguamento di infrastrutture viarie esistenti.

Molte delle più recenti ricerche nel campo della frammentazione e della continuità territoriale hanno dimostrato che le infrastrutture lineari, e le strade in particolare, si pongono quali vere e proprie barriere di separazione tra ambiti ecologici contigui, svolgendo così un ruolo principale nella interruzione della continuità territoriale.

Oltretutto la sopravvivenza e la molteplicità di specie in una data area, isolata in un contesto estraneo, è determinata dalle caratteristiche qualitative della stessa, dimensione e forma esterna e, soprattutto, dalla distanza con aree simili e dalla possibilità per gli animali di superare territori intermedi.

Tali principi sanciscono la necessità di garantire sul territorio continuità e spazi biopermeabili, pena la perdita irreversibile di habitat, specie animali e specie vegetali e, in definitiva, di biodiversità. L'attenzione della comunità scientifica si sta spostando da una tutela del territorio intesa come conservazione degli ambiti a maggiore naturalità, verso principi di valorizzazione ed implementazione del sistema di connessioni, che consentono lo spostamento e l'iterazione tra ambiti spaziali diversi.

Parallelamente a ciò, la progettazione delle infrastrutture viarie, che da sempre si è confrontata con i vincoli insistenti sul territorio, anche di natura ambientale, considerandoli elementi di riferimento fondamentale per la scelta dei tracciati, oggi deve introdurre tra i parametri di riferimento anche i principi della continuità territoriale.[1]

### **3.3 TRACCIATO**

Il tracciato esistente, come specificato in precedenza, può essere suddiviso in due tratti omogenei per tipologia e caratteristiche geometriche. Il primo, che va dall'approdo di Fornelli a Tumbarino, si sviluppa lungo l'asse centrale dell' isola dividendola in due parti, il secondo, invece, è un tratto costiero che, di fatto, non crea problemi di frammentazione al contesto territoriale.

Le ipotesi progettuali considerate sono state:

1. mantenere, per quanto possibile, il tracciato esistente;
2. realizzare un nuovo tracciato sviluppato lungo la costa;

Ambedue le ipotesi presentano degli aspetti positivi ed aspetti negativi. Per quanto riguarda la prima ipotesi, relativa al mantenimento del tracciato esistente, si hanno:

Aspetti positivi :

- riutilizzo della pavimentazione esistente come base per la nuova;
- tracciato più lineare dal punto di vista plano-altimetrico;
- minore impatto ambientale a causa della cantierizzazione;

Aspetti negativi:

- frammentazione del territorio;

Per quanto riguarda la seconda ipotesi si hanno:

Aspetti positivi:

- Minima frammentazione del territorio
- 

Aspetti negativi:

- impatto ambientale maggiore in fase di cantierizzazione dovuto alla maggiore quantità di mezzi e di materiali da portare sull'isola;
- costi maggiori rispetto alla ipotesi 1;
- tracciato più tortuoso dovuto alla morfologia della costa

Essendo l'obbiettivo primario della progettazione quello di non avere eccessive esternalità sul territorio, in fase decisionale, ha prevalso la prima ipotesi, adeguando quindi il tracciato esistente, agli standard geometrici e funzionali previsti dalla normativa.

Il tracciato della nuova strada ricalca quasi interamente quello preesistente senza sostanziali modifiche e si sviluppa in una lunghezza di circa 10 Km.

Si è ritenuto opportuno in due segmenti del tracciato, dalla progressiva 2420 alla 2580 e dalla progressiva 3400 alla 3500, eseguire delle varianti. In questi punti, attualmente, l'utente della infrastruttura pur di non percorrere tali tratti preferisce proseguire su dei percorsi fuori strada. Trattasi di 2 piccoli tornanti non strettamente necessari al fine della riduzione della pendenza che passerebbe dal 7% del caso attuale in curva ad una dell' 8% in rettilineo. In queste varianti sarà necessario realizzare una pavimentazione ex-novo.

Il tracciato presenta raggi di curvatura maggiori di 20 metri, quindi maggiori del raggio minimo consentito dal D.M. del 5/11/2001 per una strada di tipologia F2. In alcuni tratti si ha un eccesso di pendenza longitudinale prescritta dalla normativa non superiore al 10%. In tratti localizzati la pendenza arriva ad un valore massimo dell' 11% e sarà necessario informare l'utenza della strada con apposita segnaletica verticale. Si è scelto di non correggere tale pendenza in quanto è stato ritenuto di primaria importanza il mantenimento del vecchio tracciato per questioni di carattere ambientale. In questo modo si è evitata la realizzazione di tratti in rilevato che, in assenza di opportuni attraversamenti faunistici, avrebbero rappresentato una vera e propria barriera per l'attraversamento della fauna.

Sono stati previsti degli allargamenti in curva laddove il raggio di curvatura era prossimo a quello minimo. Grazie al programma Civil Design 8 è stato possibile effettuare le verifiche riguardanti le distanze di visibilità e le caratteristiche geometriche, le quali hanno restituito dati relativamente positivi: l'unica verifica che non risulta quasi mai conforme alle norme, riguarda la lunghezza minima dei rettifili tra due curve successive, che per una strada di tale tipologia deve essere di almeno 20 metri. Si ritiene necessario, al fine di mantenere il tracciato della strada preesistente, andare in deroga alla normativa del 5 novembre 2011, ammettendo una lunghezza minore di 20 metri dei rettifili tra due curve successive.

### 3.4 CARREGGIATA

La carreggiata di progetto è una piattaforma di tipo F2 modificata (in riferimento al DM 5/11/2001). Sono state allargate le banchine da 0,50 m a 1,50 per permettere l'uso di tali spazi come vie ciclabili. Le corsie ,invece, rispettano la larghezza di una strada di tipo F2 con larghezza di 2,75 metri per ogni senso di marcia.

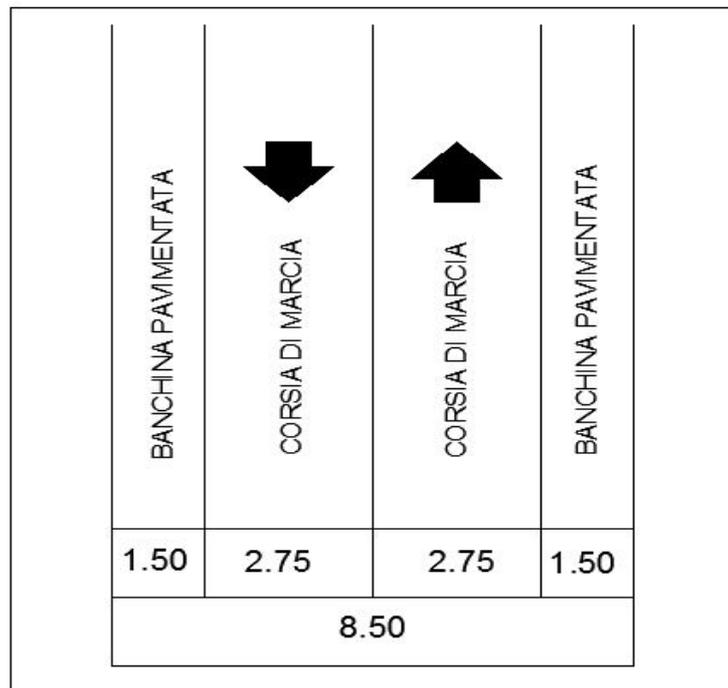


Fig.3.1: Carreggiata di progetto strada tipo F2

E' stata scartata l'ipotesi di realizzare piste ciclabili in sede protetta, in quanto sarebbe stato necessario un ulteriore allargamento della carreggiata da 8,5 metri a 10 metri. Tale soluzione, dal punto di vista ambientale, sarebbe risultata notevolmente più onerosa in quanto il punto cardine della progettazione è stato quello di mantenersi il più possibile prossimi alle dimensioni della infrastruttura preesistente. Dal punto di vista della sicurezza, inoltre, la scelta di adottare banchine ciclabili non influisce negativamente in quanto il traffico previsto su tale infrastruttura non eccede i duecento veicoli al giorno in ambedue i sensi.

### **3.5 UTILIZZO DELLA PAVIMENTAZIONE PREESISTENTE**

In fase di studio di fattibilità si è ritenuto opportuno utilizzare la pavimentazione della strada preesistente per i seguenti motivi:

- minore impatto ambientale rispetto alla costruzione ex-novo;
- buone caratteristiche di portanza della vecchia pavimentazione;
- minori costi;
- ridotti movimenti di terra.

Nella fase di analisi delle criticità si è riscontrato un serio problema riguardante la estrema variabilità della larghezza della carreggiata che allo stato attuale va da un minimo di 4 metri di larghezza ad un massimo di 6 metri. Si è pensato, dunque, di allargare la stessa da ambedue i lati così da avere una carreggiata di larghezza fissa pari a 8,5 metri, ad eccezione per gli allargamenti in curva e le piazzole di sosta. In questa maniera si è ottenuta una pavimentazione collocabile tra una pavimentazione semi-rigida al centro ed una flessibile ai lati.

In fase di realizzazione sarà necessario usare delle accortezze costruttive, ad esempio, la messa in opera di una mano di impermeabilizzazione superiormente alla vecchia pavimentazione al fine di occludere eventuali fessurazioni presenti su di essa; tagliare un angolo della vecchia pavimentazione in maniera tale che gli strati laterali aggiunti risultino meglio collegati a quelli della vecchia .

### **3.6 OPERE DI ALLONTANAMENTO DELLE ACQUE**

Una criticità riscontrata è rappresentata dalla totale assenza di opere di allontanamento delle acque meteoriche lungo tutta la vecchia infrastruttura

con conseguente insufficiente smaltimento delle acque piovane.

A tale proposito si sono valutate due soluzioni:

- utilizzo di tombini drenanti;
- realizzazione di trincee drenanti e pozzi drenanti;

L'installazione di tombini avrebbe reso necessaria la rottura della vecchia pavimentazione; tali opere, dovendo passare al di sotto della sede stradale, causerebbero in fase realizzativa un notevole impatto ambientale nonché un incremento dei costi di realizzazione.

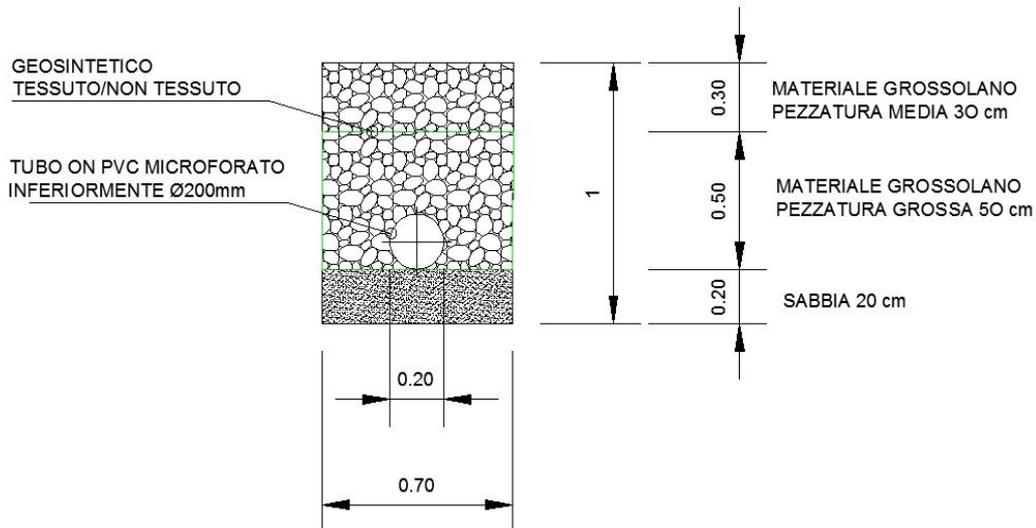


Fig.3.2: Particolare trincea drenante

Allo stesso tempo, lo smaltimento delle acque per mezzo di tali opere, avrebbe richiesto una manutenzione periodica con intervalli di tempo ridotti dovuti alla alta densità vegetativa del contesto dove, foglie e arbusti, avrebbero provocato occlusioni e malfunzionamenti.

Si è riscontrato che la soluzione meno impattante dal punto di vista ambientale era quella di costruire delle trincee drenanti interposte tra pozzi drenanti di maggiore profondità. Questa soluzione è maggiormente plausibile anche perchè dai dati raccolti dall' Ente Parco si può constatare che nell'arco di un anno si hanno scarse precipitazioni sul territorio, come evidenziato nel capitolo 1 con i dati pluviometrici.

Altresì l'idea di utilizzare pozzi drenanti profondi è attuabile considerato che il suolo è composto principalmente da breccia calcarea, quindi un materiale di per sé drenante.

Tali soluzioni sono state utilizzate nei tratti aventi sezione a mezza costa dove l'acqua è impossibilitata a raggiungere il terreno ed il fosso di guardia laterale alla pavimentazione. Nei tratti non a mezza costa

L'allontanamento delle acque avviene per mezzo di una sagomatura del binder nel quale viene convogliata l'acqua affluente sulla carreggiata grazie ad una pendenza trasversale della stessa pari al 2,5%. Ogni 100 metri sono previsti degli embrici che conducono l'acqua dalla sede stradale ai fossi di guardia.

L'utilizzo inoltre di uno strato di usura molto più permeabile rispetto a quello preesistente impedisce l'innescarsi di fenomeni di ristagno dell'acqua sulla carreggiata.

### **3.7 BARRIERE DI SICUREZZA**

Le criticità ambientali riscontrate lungo l'infrastruttura sono principalmente da attribuire all'eccesso di barriere di sicurezza presenti, in particolar modo nel tratto iniziale della strada.

Per quanto riguarda tale punto, è noto che un eccesso di barriere di ritenuta rende l'infrastruttura viaria una barriera fisica per l'attraversamento degli animali, soprattutto nel caso in cui non vi siano apposite strutture per l'attraversamento faunistico.

Peraltro la morfologia del terreno nelle immediate adiacenze della infrastruttura non giustifica la scelta di installare tali barriere in quanto non vi sono punti pericolosi o posti da proteggere. Le barriere in oggetto sono in acciaio, e considerando che la strada si trova all'interno di un parco naturale, questo fattore costituisce anche un inquinamento di tipo paesaggistico e visivo. E' stata prevista ,quindi, la rimozione di tali barriere nei tratti dove esse non sono necessarie e l'installazione invece dove ritenuto necessario, come ai margini delle scarpate o a monte di opere di sostegno. Le barriere da utilizzare sono composte da legno ed acciaio, in modo da non rappresentare un impatto visivo avverso al contesto.

Questi tipi di barriere vengono utilizzate prevalentemente in zone dove è da tutelare l'aspetto paesaggistico del contesto territoriale grazie al loro rivestimento in legno.



Fig.3.3: Barriere Metal-Wood



Fig.3.4: Barriere Metal-Wood in ambito urbano

In particolare si è scelto di utilizzare barriere *Metal-Wood* di tipologia H2 prodotte dalla stessa Metal Wood. Le barriere stradali MW sono caratterizzate da estrema versatilità e ridotto impatto ambientale. I materiali arrivano sul cantiere già assemblati nelle parti legno-acciaio e risultano molto rapidi da installare rispetto alle barriere tradizionali.

### 3.8 SMOTTAMENTO SCARPATE

Lungo il tracciato sono presenti fenomeni localizzati di smottamento delle scarpate. Con tale termine si indicano piccole frane di tipo superficiale, composte principalmente di materiali incoerenti o resi tali dall'effetto erosivo dell'acqua. In sede di studio di fattibilità si sono pensate più opportunità per la risoluzione di questo problema, che può causare un peggioramento delle condizioni sicurezza per caduta di materiale sulla carreggiata. Una soluzione ipotizzata è quella di usare come protezione delle scarpate un prodotto derivante dalla lana di pecora prodotto dalla azienda *Edil Lana*. Questo prodotto derivante dallo scarto della tosatura delle pecore si sarebbe dimostrato perfetto in quanto di facile reperibilità in Sardegna e per il suo bassissimo impatto ambientale. Purtroppo però tale prodotto non è ancora in commercio in quanto è ancora in fase di sperimentazione per testarne l'efficacia, quindi si è scelto di utilizzare delle geo stuoie le quali oltre alla azione di contenimento della scarpata consentono anche un rinverdimento della stessa, rendendola gradevole dal punto di vista paesaggistico. Nella sistemazione di scarpate terrose asciutte può essere utilizzata la geostuoia tridimensionale in filamenti di nylon a fondo aperto ENKAMAT 7020 o ENKAMAT 7010 prodotti dalla casa *Seic geotecnica*. La sua particolare struttura preserva i semi ed i germogli dal dilavamento superficiale ed agisce come armatura permanente dell'apparato radicale, conferendo una protezione della scarpata duratura nel tempo.

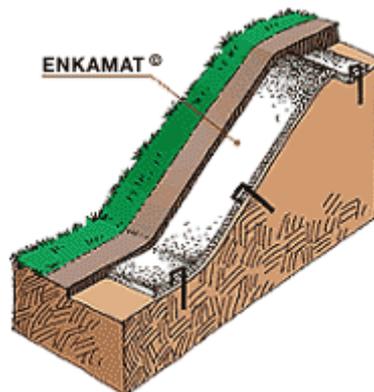


Fig.3.5: Posizionamento Geostuoia Enkamat

Nel caso in cui sia sufficiente una sistemazione della scarpata tendente soltanto a ripristinare in tempi sufficientemente rapidi la vegetazione, con un controllo provvisorio dell'erosione del terreno da parte delle acque meteoriche, si potranno impiegare vantaggiosamente materiali biodegradabili, quali:

- Bioreti
  - Geojuta: georete antierosione biodegradabile, in fibre naturali di juta;
  - Coconet: georete antierosione biodegradabile, in fibre naturali di cocco;
- Biostuoie:
  - Strawmat: geostuoia in paglia, biodegradabile;
  - Stcmat: Geostuoia in fibre naturali di paglia e cocco, biodegradabile;
- Biofeltri:
  - Ecofelt: Biofeltro per rivestimenti antierosione di scarpate versante.

Questa soluzione risulta maggiormente compatibile dal punto di vista ambientale.

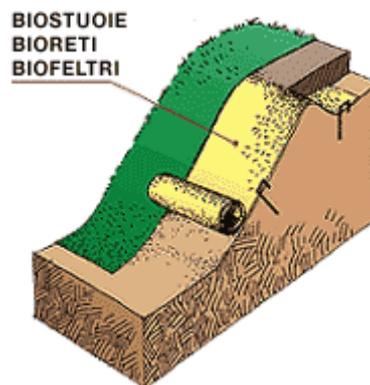


Fig.3.6: posizionamento biostuoie

### 3.9 ATTRAVERSAMENTI FAUNISTICI

In fase di studio di fattibilità si è vagliata la possibilità di dislocare lungo il tracciato apposite opere per l'attraversamento degli animali in sicurezza. I passaggi per la fauna sono manufatti artificiali di varia natura, trasversali alla sezione stradale, che consentono l'attraversamento dell'infrastruttura da parte delle specie animali.

Le tipologie di passaggio per la fauna sono diverse e appartengono essenzialmente alle seguenti categorie:

- tombini di drenaggi;
- sottopassi scatolari idraulici;
- sottopassi stradali;
- sottopassi ad esclusivo uso faunistico;
- passaggi per anfibi;
- sovrappassi stradali;
- sovrappassi ad uso esclusivo per la fauna (ecodotti);
- canalette di scarpata.

Nel caso in esame si è scelto di non utilizzare i passaggi faunistici sia per questioni costruttive sia per questioni funzionali.

Dal punto di vista costruttivo, la costruzione di un sottopassaggio faunistico avrebbe comportato la parziale rimozione della pavimentazione stessa prescindendo dunque dallo scopo primario dell'intervento di mantenere intatta la pavimentazione preesistente. Grazie al basso livello di traffico circolante sulla infrastruttura, se si verifica una invasione della carreggiata da parte di un animale, l'utente della strada può facilmente schivare l'ostacolo non prescindendo dalla sua sicurezza.

L'animale, allo stesso modo, vedendo il pericolo può tranquillamente liberare la carreggiata data l'assenza su quasi tutta l'infrastruttura di barriere di sicurezza.

Ovviamente la possibile presenza di animali sulla carreggiata va segnalata all'utenza con un apposito cartello di pericolo.

### 3.10 FESSURAZIONE DELLA PAVIMENTAZIONE

Tale criticità viene essenzialmente risolta realizzando uno strato di usura nella parte superficiale della pavimentazione e stando particolarmente attenti nella fase di messa in opera. Infatti, una posa sbagliata del conglomerato potrebbe portare ad un ammaloramento prematuro della stessa.

E' stato previsto uno strato di *Biostrasse*, ossia uno strato superficiale a impatto ambientale minimo, privo di componenti derivanti dal petrolio, dello spessore minimo di 6 cm. Nonostante le sua alta adattabilità ambientale questo tipo di conglomerato ha restituito buonissime caratteristiche prestazionali in ambiti dove il traffico non è particolarmente elevato, come nel caso del parco dell' Asinara.

### 3.11 PIAZZOLE DI SOSTA

In fase di definizione del tracciato sono state previste delle piazzole di sosta site in punti particolarmente indicati per il loro panorama, due per ogni senso di marcia.



Fig.3.7a Panorama visibile da una delle piazzole di sosta

Esse hanno una larghezza di circa 3,5 metri oltre la banchina e sono dotate di barriere di sicurezza con passaggi particolari per permettere agli utenti di uscire dalla sede stradale. Questo per permettere una visita più completa del panorama circostante.



Fig.3.7b : Panorama visibile da una delle piazzole di sosta



Fig.3.8: Panorama visibile dalle piazzole di sosta

Inoltre in ogni piazzola turistica è prevista l'istallazione di un cartello informativo dedicato ad attività turistiche del tutto simile a quello della figura seguente.



Fig. 3.11: Cartello informativo presente sulle piazzole di sosta

### 3.12 MANUTENZIONE

Un aspetto fondamentale della progettazione riguarda un attenta e scrupolosa organizzazione delle azioni di manutenzione da intraprendere sulla infrastruttura. È necessario definire a priori interventi di manutenzione ordinaria al fine di prevenire piccole problematiche che possono però inficiare in maniera significativa sulla sicurezza della circolazione.

Un esempio dell'importanza della manutenzione riguarda il problema della vegetazione invasiva: data l'aggressività della vegetazione autoctona è necessario prevedere degli interventi periodici di sgombero della carreggiata da rami e arbusti cresciuti eccessivamente nelle immediate adiacenze della strada. Questa eccessiva crescita della vegetazione può causare problemi di visibilità sul tracciato, disorientando quindi gli utenti.

### **3.13 OPERE DI SOSTEGNO**

In alcuni punti del tracciato si è ritenuto necessario la costruzione di opere di sostegno al fine di garantire stabilità alla carreggiata. La soluzione intrapresa riguarda l'installazione di un muro di sostegno a gabbioni in quanto ritenuta la più idonea al contesto ambientale. Questa soluzione rappresenta la meno impattante visivamente, in quanto costituita principalmente da pietrame e data la possibilità di realizzare un rinverdimento mediante l'utilizzo delle talee.

#### **3.13.1 Calcolo muro di sostegno in gabbioni**

I muri in gabbioni sono un particolare tipo di opere di sostegno a gravità a struttura modulare, realizzati mediante l'assemblaggio di elementi parallelepipedi in rete metallica, detti gabbioni, riempiti con pietrame direttamente in cantiere. I gabbioni sono formati da teli di rete di acciaio a maglia esagonale a doppia torsione e hanno di solito una larghezza di 1,00 m, un'altezza di 0,50 m o 1,00 m e una lunghezza variabile da 1,50 m a 4,00 m. La flessibilità consente l'adattamento del muro ad eventuali cedimenti del terreno senza che questo comporti la rottura dei gabbioni e la fuoriuscita del materiale di riempimento. La permeabilità garantisce un ottimo drenaggio dell'acqua, impedendone l'accumulo a tergo dell'opera e quindi il verificarsi di spinte superiori a quelle considerate in fase di progetto. Il progetto di un muro in gabbioni si esegue allo stesso modo di un muro a gravità di calcestruzzo o muratura, tuttavia, la sua particolare struttura modulare con  $n$  strati di gabbioni richiede che le verifiche di stabilità vengano eseguite sia con riferimento all'intero muro, sia considerando le

$(n-1)$  porzioni che si ottengono considerando per ciascun strato solo gli strati soprastanti.

Dopo aver ipotizzato le dimensioni del muro in gabbioni si è proceduto ad effettuare il calcolo di stabilità dell'opera attraverso 5 verifiche:

- verifica al ribaltamento: si controlla che per effetto della componente orizzontale della spinta non si verifichi la rotazione del muro in gabbioni intorno al lembo esterno della fondazione. All'azione ribaltante della spinta si oppongono i carichi verticali agenti sul muro in gabbioni, che producono un momento stabilizzante di segno opposto. Questi carichi sono il peso proprio del muro, il peso del terreno gravante sul muro, il sovraccarico e la componente verticale della spinta;
- verifica allo scorrimento: si controlla che gli attriti che si sviluppano tra la superficie inferiore del muro e il terreno su cui poggia siano sufficienti a contrastare la spinta del terreno che il muro sorregge;
- verifica della capacità portante del terreno di fondazione: si esegue confrontando la massima pressione di contatto trasmessa dal muro in gabbioni con la pressione ammissibile. Quest'ultima può essere determinata utilizzando la formula di Brinch-Hansen, noti i parametri geotecnici del terreno di fondazione. Mediante questa verifica si può controllare se la superficie di base sia completamente reagente e che non si parzializzi, quindi che la risultante delle forze ricada nel nocciolo di inerzia della base;
- verifica stabilità globale: dopo aver verificato che il muro è solidale al terreno circostante, occorre controllare che non si verifichi una destabilizzazione dell'intero pendio. Per fare ciò s'individuano più superfici di scorrimento circolari i cui centri appartengono ad una maglia, si divide il terreno, comprensivo del muro, in un certo numero di conci. Ovviamente maggiore è il numero di conci e più il calcolo risulterà preciso. Su di essa si controlla lo stato tensionale resistente, ossia l'attrito che la terra sotto carico è in grado di fornire, e quello destabilizzante rappresentato dalla componente tangenziale delle forze peso dei singoli conci.

- verifica di stabilità interna: con lo stesso metodo utilizzato per il calcolo delle pressioni sul terreno, occorre determinare le tensioni normali agenti tra i diversi strati di gabbioni e confrontarle con la resistenza a compressione dei gabbioni. Inoltre, per scongiurare che si verifichi lo scivolamento di una parte del muro in gabbioni rispetto alla parte sottostante, è necessario calcolare anche le tensioni tangenziali tra uno strato e l'altro e confrontarle con la resistenza a taglio dei gabbioni.

Con l'entrata in vigore delle NTC 2008 queste verifiche si effettuano con il metodo semiprobabilistico agli stati limite che consente di effettuare una verifica che abbia valenza probabilistica, ma sia eseguita seguendo la metodologia utilizzata nei metodi deterministici come quello delle tensioni ammissibili. Il metodo semiprobabilistico agli stati limite consiste nel verificare che le grandezze che influiscono in senso positivo sulla sicurezza siano maggiori di quelle che influiscono in senso negativo sulla sicurezza. Si considera un valore della resistenza che ha una piccola probabilità di non essere superata (5%) e un valore della sollecitazione con una grande probabilità di non essere superata (95%) e si verifica che:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  rappresenta il valore di progetto dell'azione e  $R_d$  rappresenta il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

La resistenza di calcolo  $R_d$  è determinata dividendo la resistenza caratteristica  $R_k$  per un coefficiente  $\gamma_m (>1)$  :

$$R_d = R_k / \gamma_m$$

La sollecitazione di calcolo  $E_d$  è determinata amplificando i carichi caratteristici con opportuni coefficienti moltiplicativi  $\gamma_F$  dipendenti dal tipo di carico:

$$E_d = E_k (\gamma_F, F_k)$$

La verifica della condizione  $E_d \leq R_d$  deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni ( $A_1$  e  $A_2$ ), per i parametri geotecnici ( $M_1$  e  $M_2$ ) e per le resistenze ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza

parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi:

- Approccio 1 combinazione 1 :  $A_1+M_1+R_1$

combinazione 2 :  $A_2+M_2+R_2$

- Approccio 2 combinazione unica :  $A_1+M_1+R_3$

Le sezioni in cui si opera l'intervento presentano caratteristiche analoghe con pendenze medie dell'ordine di circa  $34^\circ$  e un terreno prevalentemente calcareo. Si è scelto di utilizzare muri a gabbioni realizzati a gradoni esterni con i vari strati sfalsati l'uno rispetto all'altro di 50 cm. I muri sono formati da 3 strati alti 1 m ciascuno ,per un'altezza complessiva dell'opera di 3 m, e da una soletta in gabbione spessa 50 cm che funge da fondazione. I teli di rete di acciaio che compongono i gabbioni sono a maglia esagonale  $8 \times 10$  con diametro dei fili di 2,7 mm. Il materiale di riempimento è composto da pietre di cava con peso di volume di  $26 \text{ kN/m}^3$  e una porosità all'interno del gabbione del 25%.

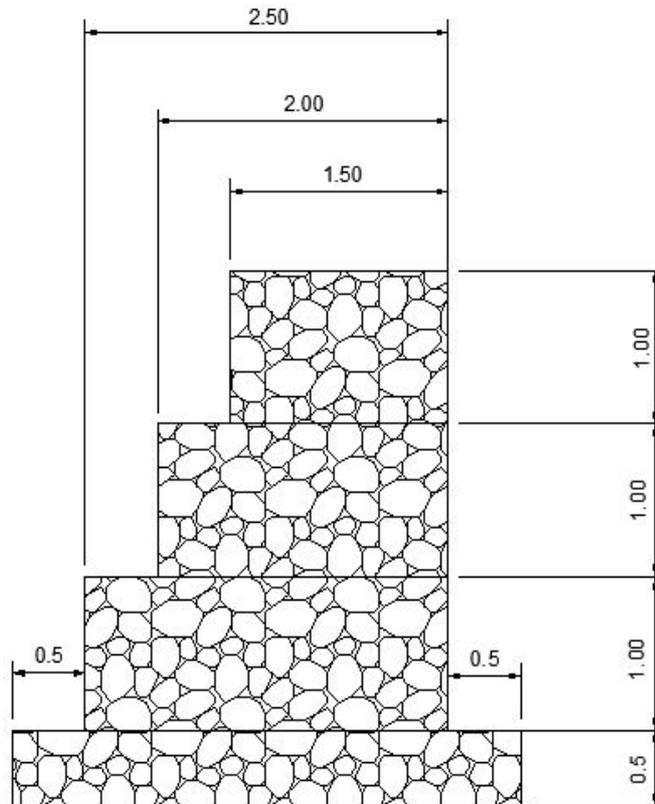


Fig.3.12: Dimensioni del muro in gabbioni

Nella tabella 3.1 vengono riportate le caratteristiche del muro in gabbioni

<b>MURO IN GABBIONI</b>	
$\gamma_{\text{mat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	26
<b>N</b>	0,25
<b>maglia</b>	8*10;Φ2,7mm
<b>h (m)</b>	3,5
$\gamma_{\text{gab}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	19,5

Tabella 3.1: Parametri muro.

Nella tabella 3.2 invece le dimensioni dei vari strati.

<b>Strato</b>	<b>Larghezza (m)</b>	<b>Altezza (m)</b>
<b>1</b>	1,5	1
<b>2</b>	2,0	1
<b>3</b>	2,5	1
<b>soletta</b>	3,5	0,5

Tabella 3.2: Dimensioni del muro.

Nella tabella 3.3 vengono riportate le caratteristiche del terrapieno e del terreno di fondazione.

<b>TERRENO</b>	
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	20
$\phi$ (°)	35
<b>c</b> (kN/m <sup>2</sup> )	0

Tabella 3.3: Parametri del terreno

Si è considerato un sovraccarico sul terrapieno ( $q$ ) di 20 kN/m<sup>2</sup> considerando il peso del traffico passante; si è scelto un valore altamente cautelativo data l'incertezza sugli spessori degli strati costituenti la pavimentazione e la loro consistenza. Per il calcolo della spinta del terreno si è ricorso al metodo di Coulomb, basato sull'equilibrio di un ammasso indeformabile di terreno. Per i gabbioni l'angolo di attrito muro-terreno  $\delta$  si è assunto uguale all'angolo di resistenza al taglio del terreno. Se il muro in gabbioni presenta una fondazione allungata si può

considerare che il peso del terreno gravante sullo sbalzo della fondazione contribuisca alla stabilità. La superficie di spinta è verticale e passa per l'estremo della fondazione, se lo sbalzo non supera lo spessore della stessa. Nel caso in cui lo sbalzo ecceda lo spessore della fondazione, la parte eccedente non viene considerata ai fini della verifica a ribaltamento, ma solo ai fini della verifica a scorrimento. Il peso di volume apparente di un gabbione si può ricavare a partire dal peso di volume  $\gamma$  del materiale di riempimento e dalla porosità  $n$  del gabbione. Per evitare la fuoriuscita del pietrame dalla rete metallica, occorre che la pezzatura sia pari ad almeno 1,5-2 volte la dimensione  $D$  della maglia della rete. Allo stesso tempo è preferibile non usare una pezzatura troppo grande che renderebbe difficoltosa l'incastro del materiale di riempimento.

Il coefficiente di spinta attiva secondo Coulomb assume la seguente espressione:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta + \varphi)}{\sin^2 \beta \times (\beta - \delta) \times \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \times \sin(\varphi - i)}{\sin(\beta - \delta) \times \sin(\beta + i)}} \right]^2}$$

dove:

$\beta$  = angolo del paramento interno con l'orizzontale;

$\varphi$  = angolo di attrito interno del terreno;

$\delta$  = angolo di attrito terreno muro;

$i$  = angolo d'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale.

Nel presente caso i parametri geotecnici sono:

ANGOLI	GRADI
$\beta$	90
$\varphi$	35
$\delta$	33.25
$i$	34

Tabella 3.4: Valori degli angoli della situazione in esame.

e il coefficiente di spinta  $K_a$  vale 0,608.

Utilizzando il metodo di verifica agli SLU c'è un coefficiente parziale da applicare anche all'angolo di attrito interno del terreno che a seconda dell'approccio considerato vale:

$\gamma_\phi=1,00$  (categoria M1)

$\gamma_\phi=1,25$  (categoria M2)

Quindi quando si utilizza la categoria M1 l'angolo d'attrito interno che si impiega rimane lo stesso e allo stesso modo il coefficiente di spinta attiva  $K_a$ ; quando si utilizza la categoria M2 si ricorre invece ad un angolo di attrito interno corretto definito dalla relazione:

$$\phi_d = \arctan\left(\tan\frac{\phi}{1,25}\right)$$

L'angolo di attrito interno del terreno corretto vale perciò  $28^\circ$  e il coefficiente di spinta attiva  $K_a$  0,319.

Calcolato il coefficiente di spinta attiva è possibile calcolare la spinta attiva totale ( $S_a$ ) data dalla somma della spinta attiva dovuta al sovraccarico ( $S_q$ ) e da quella dovuta al terrapieno ( $S_t$ ).

Per ognuna delle due spinte sono state calcolate le componenti orizzontali e verticali.

$$S_a = S_q + S_t$$

$$\begin{aligned} S_q &= K_a \times q \times h & S_{qh} &= S_q \times \cos \delta & , & S_{qv} &= S_q \times \sin \delta \\ S_t &= 0.5 K_a \times \gamma_t \times h^2 & S_{th} &= S_t \times \cos \delta & , & S_{tv} &= S_t \times \sin \delta \end{aligned}$$

dove tutte le spinte sono in kN/m.

Inoltre, poiché si ha una fondazione dello spessore di 0,50 m con uno sbalzo di 0.5 m, si considera ai fini delle verifiche una parte di terreno imbarcato largo quanto lo spessore della fondazione. Il contributo dovuto al terreno imbarcato è pari a:

$$Q_{sf} = 0.50 \times 3 \times \gamma_t \times \frac{1}{\gamma_\gamma}$$

Si riportano di seguito i risultati (tutti in kN/m) per entrambe le categorie che vengono utilizzate nelle verifiche:

CATEGORIA M1 ( $\gamma_\phi=1,00$  e  $\gamma_\gamma=1,00$ )

$S_t$	74,48	$S_{th}$	62,28	$S_{tv}$	40,83
$S_q$	42,56	$S_{qh}$	35,59	$S_{qv}$	23,33
$S_a$	117,04			$Q_{sf}$	30,00

Tabella 3.5: Valori delle spinte.

CATEGORIA M2 ( $\gamma_\phi=1,25$  e  $\gamma_\gamma=1,00$ )

$S_t$	39,07	$S_{th}$	34,93	$S_{tv}$	17,49
$S_q$	89,37	$S_{qh}$	79,91	$S_{qv}$	40,01
$S_a$	128,44			$Q_{sf}$	30,00

Tabella 3.6: Valori delle spinte.

Si ricorda che la formula di Coulomb è valida solo se  $(\phi - i) > 0$ .

In questo caso, considerando la categoria M2, tale differenza risulta negativa, quindi è stata ipotizzata una pendenza  $i$  fittizia pari a  $0^\circ$  e si è considerato il terrapieno sovrastante come un ulteriore sovraccarico pari a 60 kN/m tale da avere un sovraccarico totale per la categoria M2 pari a 80 kN/m (20 + 60 kN/m).

### 3.13.1.a Verifica al ribaltamento

Lo stato limite di ribaltamento non prevede la mobilitazione della resistenza del terreno di fondazione e deve essere trattato come uno stato limite di equilibrio EQU e M2 (seconda combinazione di carico).

Si calcolano le spinte dovute al terreno e al sovraccarico utilizzando i coefficienti parziali della categoria M2:  $\gamma_\phi=1,25$  e  $\gamma_\gamma=1,00$ .

Il momento ribaltante rispetto al punto O è pari a:

$$E_d = M_{dest} = S_{th} \times h / 3 \times \gamma_g + S_{qh} \times h / 2 \times \gamma_q$$

dove  $\gamma_g = 1,1$   $\gamma_q = 1,50$  (coefficienti parziali per azioni sfavorevoli EQU)

$$E_d = M_{dest} = 34,931,16 \cdot 1,1 + 79,91 \cdot 1,75 \cdot 1,5 = 254,33 \text{ kNm/m}$$

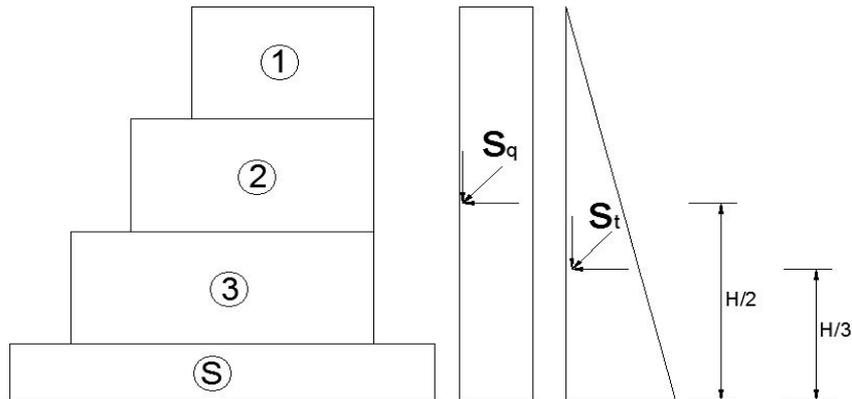


Figura 3.13: Muro in gabbioni con numerazione degli strati e diagramma delle spinte attive.

Il momento stabilizzante si compone di tre contributi: quello dovuto al peso proprio dei vari strati di gabbioni, quello prodotto dalla componente verticale della spinta attiva e quello dovuto al terreno imbarcato sopra la soletta di calcestruzzo.

$$R_d = M_{stab} = M_{s\_gab} + M_{s\_sf} + M_{s\_tq}$$

Il momento stabilizzante dovuto al peso proprio dei gabbioni è quindi pari a:

$$M_{s\_gab} = \gamma_{G1} \times (P_1 \times d_1 + P_2 \times d_2 + P_3 \times d_3 + P_s \times d_s)$$

Dove:

d = distanza della risultante del peso del gabbione dal polo di rotazione O

P = peso dello strato di gabbione.

$$\gamma_{G1} = 0,9$$

Strato	Peso (kN/m)	Distanza baricentro (m)	Momento stabilizzante (kNm/m)
1	29,25	2,25	65,81
2	39	2	78
3	48,75	1,75	85,31
soletta	43,87	2,25	98,7

Tabella 3.7: Calcolo momenti stabilizzanti di ogni strato.

$$M_{s\_gab} = 327,81 \text{ kNm/m}$$

Il momento stabilizzante dovuto alla componente verticale della spinta attiva è pari a:

$$M_{s\_tq} = \gamma_{G1} \times (S_{tv} + S_{qv}) \times l_{sol}$$

Dove:

$$\gamma_{G1} = 0,90$$

$$l_{sol} = 3,5 \text{ m}$$

$$M_{s\_tq} = 0,9 \cdot (40,01 + 17,49) \cdot 3,5 = 181,12 \text{ kNm/m}$$

Il momento stabilizzante dovuto al peso del terreno imbarcato sopra la fondazione è pari a:

$$M_{s\_sf} = \gamma_{G1} \times (Q_{sf} \times (l_3 + 0,75))$$

Dove

$$\gamma_{G1} = 0,90$$

$l_3 + 0,75 =$  distanza della risultante del peso di terreno imbarcato dal polo di rotazione

$$M_{s\_sf} = 0,90 \cdot (30 \cdot (2,5 + 0,75)) = 97,55 \text{ kNm/m}$$

Di seguito si riportano i risultati (in kNm/m):

<b>Mdest</b>	<b>254,33</b>	
Ms gab	327,81	<b>Verifica</b>
Ms sf	97,55	Mdest ≤ Ms tot
Ms tq	181,15	verificato
<b>Ms tot</b>	<b>587,29</b>	

Tabella 3.8: Risultati della verifica a ribaltamento.

$R_d/E_d = 2,31$  quindi  $R_d/E_d > 1$ , la verifica è soddisfatta.

**3.1.13.b Verifica allo scorrimento**

Nello stato limite di collasso per scorrimento, l'azione di progetto è data dalla componente orizzontale della spinta attiva. A seconda dell'approccio e della combinazione scelta si hanno diversi coefficienti parziali ( $\gamma$ ).

La forza stabilizzante è data dal carico verticale totale agente alla base del muro per il coefficiente di attrito terreno-muro ( $\delta$ ) sommata alla forza orizzontale fornita dallo sbalzo della fondazione. Il carico verticale totale è dato dalla somma del peso proprio dei gabbioni e della componente verticale della spinta attiva. La forza orizzontale fornita dallo sbalzo è pari a :

$$\min(F_{rete}, F_{attr})$$

dove  $F_{rete}$  è lo sforzo sopportato dalla rete metallica della base e del coperchio di fondazione e  $F_{attr}$  è la resistenza di attrito prodotta dal peso del terreno che grava sulla porzione di fondazione che eccede lo spessore.

In tale caso la fondazione non eccede lo spessore, quindi ai fini della verifica a scorrimento, non si considera in contributo dello sbalzo orizzontale alla base del muro.

APPROCCIO 1 combinazione 1 (STR)

$$E_d = F_{scorr} = (S_{th} \times \gamma_G + S_{qh} \times \gamma_G) \quad \text{dove } \gamma_G = 1,3$$

$$E_d = F_{scorr} = (35,59 \cdot 1,3 + 62,28 \cdot 1,3) = 127,23 \text{ kN/m}$$

$$R_d = F_{stab} = \frac{1}{\gamma_R} + \left[ (P_1 + P_2 + P_3 + P_{sol}) \times \gamma_G + S_{iv} \times \gamma_G + S_{qv} \times \gamma_G + Q_{sf} \times \gamma_G \right] \times \tan \delta \times \frac{1}{\gamma_R}$$

dove  $\gamma_G = 1,0$  e  $\gamma_R = 1,0$  kN/m

$$R_d = F_{stab} = [(29,25 + 39 + 48,87 + 43,87) \cdot 1 + 23,33 \cdot 1 + 40,83 \cdot 1 + 30 \cdot 1] \tan(33,25^\circ) \cdot \frac{1}{1} = 167,04$$

Approccio 1	Comb 1 STR	Verifica
$F_{scorr}$ (kN/m)	127,23	$F_{scorr} \leq F_{stab}$
$F_{stab}$ (kN/m)	167,04	<b>verificato</b>

Tabella 3.9. Risultati verifica a scorrimento con combinazione 1 STR.

$R_d/E_d=1,31$  quindi  $R_d/E_d>1$ , la verifica è soddisfatta.

**APPROCCIO 1 combinazione 2 (GEO)**

$$E_d = F_{scorr} = (S_{th} \gamma_G + S_{qh} \gamma_G) \quad \text{dove } \gamma_G = 1,0$$

$$E_d = F_{scorr} = (34,93 \cdot 1 + 89,37 \cdot 1) = 124,31 \text{ kN/m}$$

$$R_d = F_{stab} = F_{attr} \times \frac{1}{\gamma_R} + \left[ (P_1 + P_2 + P_3 + P_{sol}) \gamma_G + S_{iv} \gamma_G + S_{qv} \gamma_G + Q_{sf} \gamma_G \right] \times \tan \delta \times \frac{1}{\gamma_R}$$

dove  $\gamma_G = 1,0$  e  $\gamma_R = 1,0$

$$R_d = F_{stab} = [ (29,25 + 39 + 48,75 + 43,87) \times 1 + 40,01 \times 1 + 17,49 \times 1 + 30 \times 1 ] \times \tan(33,25^\circ) = 162,83 \text{ KN/m}$$

Approccio 1	Comb_2 GEO	Verifica
$F_{scorr}$ (kN/m)	124,31	$F_{scorr} \leq F_{stab}$
$F_{stab}$ (kN/m)	162,83	verificato

Tabella 3.10: Risultati verifica a scorrimento con combinazione 2 GEO.

$R_d/E_d=1,30$  quindi  $R_d/E_d>1$ , la verifica è soddisfatta.

**3.1.13.c Verifica della capacità portante del terreno di fondazione**

Nello stato limite di collasso per raggiungimento del carico limite della fondazione, l'azione di progetto  $E_d$  è data dalla somma delle forze verticali, determinate applicando alle spinte e ai parametri geotecnici i coefficienti corrispondenti all'approccio impiegato. La resistenza di progetto  $R_d$  è data dalla forza normale al piano di posa cui corrisponde il carico limite ridotto con il coefficiente corrispondente all'approccio utilizzato. Per calcolare le pressioni di contatto sul terreno è necessario innanzitutto calcolare il momento generato dal peso proprio dei gabbioni e dalla spinta attiva intorno al baricentro G della base del muro. Nei calcoli che seguono si considerano positivi i momenti destrogiri. I pesi

degli strati vanno moltiplicati per un coefficiente  $\gamma_G$  diverso a seconda dell'approccio impiegato.

I momenti intorno a G prodotti dai singoli strati di gabbioni sono di seguito riportati:

Strato	Peso (kN/m)	Distanza baricentro strato da G (m)	Momento (kNm/m)
1	29,25	0,5	14,62
2	39	0,25	9,75
3	48,87	0	0
soletta	43,87	0	0

Tabella 3.11: Momenti dei singoli strati intorno al baricentro.

### APPROCCIO 1 combinazione 1

dove  $\gamma_{G1} = 1,30$

Il momento prodotto dalla spinta attiva vale:

$$M_{sa} = - S_{th} \times h / 3 + S_{tv} \times l_{sol} / 2 - S_{qh} \times h / 2 + S_{qv} \times l_{sol} / 2$$

$$M_{sa} = - 35,59 \cdot 1,5 + 23,33 \cdot 1,75 - 62,28 \cdot 0,91 + 40,83 \cdot 1,75 = 2,22 \text{ kNm/m}$$

Il momento totale intorno a G vale:

$$M = (M_{sa} + M_1 + M_2 + M_3) \times \gamma_{G1}$$

$$M = (14,62 + 9,75 + 45 + 2,22) \cdot 1,3 = 93,04 \text{ kNm/m}$$

La somma delle forze verticali è pari a:

$$N_{tot} = (P_1 + P_2 + P_3 + P_{sol} + S_{tv} + S_{qv}) \cdot \gamma_{G1}$$

$$N_{tot} = (29,25 + 39 + 48,87 + 43,87 + 23,33 + 40,83) \cdot 1,30 = 331,53 \text{ kN}$$

L'eccentricità del carico verticale è quindi pari a:

$$e = 0,28 \text{ m}$$

Si procede ora alla determinazione del carico limite unitario attraverso la formula di Terzaghi:

$$q_{lim} = 1,3 \cdot c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,4 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma$$

$$q_{lim} = 207,5 + 0,43,5 \cdot 20 \cdot 5 = 290 \text{ kN/m}^2$$

<b>N<sub>c</sub></b>	18
<b>N<sub>q</sub></b>	7,5
<b>N<sub>γ</sub></b>	5
<b>q (kN/m<sup>2</sup>)</b>	20
<b>q<sub>lim</sub> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	290

Tabella 3.12: Calcolo carico limite del terreno.

Azione stabilizzante :

$$R_d = \frac{q_{lim} \times A}{\gamma_R} \text{ con } \gamma_R = 1,00$$

$$R_d = \frac{290 \cdot 3,5 \cdot 1}{1} = 1015 \text{ kN}$$

Azione destabilizzante:

$$E_d = N_{Tot} = 331,53 \text{ kN}$$

$R_d/E_d = 3,06$  quindi  $R_d/E_d > 1$ , la verifica è soddisfatta.

### APPROCCIO 1 combinazione 2

dove  $\gamma_{G1} = 1,00$

Il momento prodotto dalla spinta attiva vale:

$$M_{sa} = - S_{th} \times h / 3 + S_{tv} \times l_{sol} / 2 - S_{qh} \times h / 2 + S_{qv} \times l_{sol} / 2$$

$$M_{sa} = - 34,93 \cdot 0,91 + 40,01 \cdot 1,75 - 79,91 \cdot 1,5 + 17,49 \cdot 1,75 = - 61,02 \text{ kNm/m}$$

Il momento totale intorno a G vale:

$$M = (M_{sa} + M_1 + M_2 + M_3) \times \gamma_{G1}$$

$$M = (- 61,02 + 14,62 + 9,75 + 75) \cdot 1,0 = 8,35 \text{ kNm/m}$$

La somma delle forze verticali è pari a:

$$N_{tot} = (P_1 + P_2 + P_3 + P_{sol} + S_{tv} + S_{qv}) \cdot \gamma_{G1}$$

$$N_{tot} = (29,25 + 39 + 48,75 + 43,87 + 40,01 + 17,49) \cdot 1,00 = 248,37kN$$

L'eccentricità del carico verticale è quindi pari a:

$$e = 0,03 \text{ m}$$

Si procede ora alla determinazione del carico limite unitario attraverso la formula di Terzaghi:

$$q_{lim} = 1,3 \times c \times N_c + q \times N_q + 0,4 \times B \times \gamma \times N_\gamma$$

$$q_{lim} = 248,37kN / m^2$$

<b>N<sub>c</sub></b>	18
<b>N<sub>q</sub></b>	7,5
<b>N<sub>γ</sub></b>	5
<b>q (kN/m<sup>2</sup>)</b>	20
<b>q<sub>lim</sub> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	290

Tabella 3.13: Calcolo carico limite del terreno.

Azione stabilizzante :

$$R_d = \frac{q_{lim} \times A}{\gamma_R} \text{ con } \gamma_R = 1,00$$

$$R_d = \frac{290 \cdot 3,5 \cdot 1}{1} = 1015kN$$

Azione destabilizzante:

$$E_d = N_{Tot} = 248,37kN$$

$R_d/E_d = 4,08$  quindi  $R_d/E_d > 1$ , la verifica è soddisfatta.

### 3.1.13.d Verifica di stabilità interna

Si calcola la spinta attiva S su ciascuna porzione di muro di altezza h, ottenuta considerando per ciascuno strato di gabbioni, a partire dal secondo, solo gli strati soprastanti.

$$S = S_1 + S_2 = K_a \cdot q \cdot h + \gamma_t \cdot K_a \cdot h^2 \cdot 0,5 = 0,608 \cdot 20 \cdot h + 20 \cdot 0,608 \cdot h^2 \cdot 0,5$$

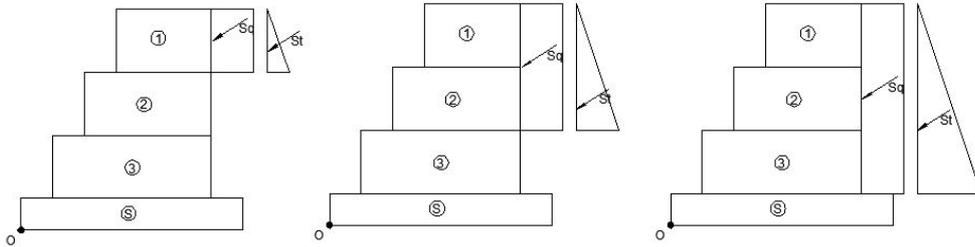


Figura 3.14: Porzione 1 (strato 1), porzione 2 (strati 1 e 2), porzione 3 (strati 1, 2 e 3).

Nel presente caso si hanno due porzioni di muro di altezza 1.00 m, 2.00 m e 3.00 m. Sostituendo nell'espressione di S si ottiene :

$$S=18,24 \text{ kN/m per } h=1,00 \text{ m}$$

$$S=36,48 \text{ kN/m per } h=2,00 \text{ m}$$

$$S=66,88 \text{ kN/m per } h=3,00 \text{ m}$$

Le componenti orizzontali della spinta nei tre casi valgono:

$$S_h = S_{1h} + S_{2h} = S_1 \times \cos \delta + S_2 \times \cos \delta$$

$$S_h=15,25 \text{ kN/m per } h=1,00 \text{ m}$$

$$S_h=30,50 \text{ kN/m per } h=2,00 \text{ m}$$

$$S_h=55,93 \text{ kN/m per } h=3,00 \text{ m}$$

e quelle verticali:

$$S_v = S_{1v} + S_{2v} = S_1 \cdot \sin \delta + S_2 \cdot \sin \delta$$

$$S_v=10 \text{ kN/m per } h=1,00 \text{ m}$$

$$S_v=20 \text{ kN/m per } h=2,00 \text{ m}$$

$$S_v=36,66 \text{ kN/m per } h=3,00 \text{ m}$$

Il prospetto seguente riporta i valori del peso proprio, della componente verticale della spinta, dello sforzo normale N e del taglio T alla base di ciascuna porzione di muro.

Porzione	Strati	Peso Proprio (kN/m)	Sv (kN/m)	N (kN/m)	T (kN/m)
1	1	29,25	10	39,25	15,25
2	1+2	68,25	20	88,25	30,5
3	1+2+3	117	36,66	153,66	55,93

Tabella 14. Valori di P, Sv, N e T alla base di ogni strato.

Si calcola la tensione tangenziale ammissibile e si fa la verifica delle tensioni tangenziali su ogni piano della gabbionata.

La tensione tangenziale ammissibile è pari a:

$$\tau_{amm} = \frac{N \times \tan(\varphi^*)}{B + c_g}$$

dove:

$$\varphi^* = \gamma_g(25-10^\circ) = 38,75^\circ \text{ (con } \gamma_g \text{ in t/m}^3\text{)}$$

$$c_g = 0,03P_u - 0,005 = 19,99 \text{ kN/m}^2$$

$$P_u = 8,33 \text{ kg/m}^3$$

Le tensioni tangenziali sulle basi delle tre porzioni di muro sono elencate nella seguente tabella.

Porzione	T (kN/m)	A (m <sup>2</sup> )	$\tau=T/A$ (kN/m <sup>2</sup> )	B (m)	N (kN/m)	$\tau_{amm}$ (kN/m <sup>2</sup> )
1	15,25	1,5	10,16	1,5	39,25	41
2	30,5	2	15,25	2	88,25	55
3	55,93	2,5	22,37	2,5	153,66	69,33

Tabella 15. Valori della tensione tangenziale alla base di ogni strato.

Le tensioni tangenziali alla base delle tre porzioni di muro risultano tutte inferiori alla corrispondente tensione tangenziale ammissibile.

Si procede alla verifica delle tensioni verticali su ogni piano della gabbionata.

Si calcolano ora i momenti intorno ai baricentri G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub> e G<sub>sol</sub> della base di ciascuna porzione considerando il contributo della spinta attiva

(componente orizzontale e verticale) e quello del peso proprio dei gabbioni.

Il prospetto seguente riporta per ciascuna porzione di muro il momento prodotto dalle componenti orizzontali della spinta. La componente  $S_{1h}$  dovuta al sovraccarico ha un braccio  $b_{1h}$  pari ad  $h/2$ , mentre la componente  $S_{2h}$  dovuta al terrapieno ha un braccio  $b_{2h}$  pari ad  $h/3$ .

Porzione	$S_{1h}$ (kN/m)	$b_{1h}$ (m)	$S_{2h}$ (kN/m)	$b_{2h}$ (m)	Momento spinta orizzontale (kN/m)
1	10,17	0,5	5,08	0,33	-6,67
2	20,33	1	20,33	0,66	-33,74
3	30,5	1,5	45,76	0,83	-76,1

Tabella 16. Momento prodotto dalle componenti della spinta orizzontale.

Dove i momenti sono stati assunti positivi se destrogiri e negativi in caso contrario. Il prospetto seguente riporta per ciascuna porzione la componente verticale della spinta, il suo braccio  $b_v$  ed il momento corrispondente.

Porzione	$S_v$ (kN/m)	$b_v$ (m)	Momento spinta verticale (kNm/m)
1	10	0,75	7,5
2	20	1	20
3	36,66	1,25	45,82

Tabella 17. Momento prodotto dalle componenti della spinta orizzontale.

Il momento prodotto dal peso proprio dei gabbioni è riportato nel prospetto seguente.

Strati	Peso strati sovrastanti (kN/m)	Braccio momento (m)	Momento pesi (kNm/m)
1	0	0	0
2	29,25	0,25	$21 \cdot 0,25 = 7,31$
3	$29,25 + 39$	0,50	$29,25 \cdot 0,5 + 39 \cdot 0,25 = 24,37$

Tabella 18. Momento prodotto dal peso proprio dei gabbioni.

Sommando i valori dei momenti calcolati nei tre prospetti soprastanti si ottengono i momenti totali intorno a  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  e  $G_{sol}$  :

$$M_{G1} = 0,74 \text{ kNm/m}$$

$$M_{G2} = -6,43 \text{ kNm/m}$$

$$M_{G3} = -5,91 \text{ kNm/m}$$

A questo punto è possibile determinare la tensione normale massima, utilizzando il metodo di Meyerhoff che considera un diagramma delle pressioni di tipo rettangolare:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{b - 2e}$$

dove  $e = M/N$

Si trova quindi per ogni strato la tensione massima:

Porzione	Momento (kNm/m)	N (kN/m)	e (m)	$\sigma_{\max}$ (kN/m <sup>2</sup> )
1	0,74	39,25	0,01	26,52
2	-6,43	88,25	0,07	47,44
3	-5,91	153,66	0,04	63,49

Tabella 19. Tensioni massime per ogni strato.

Le tensioni normali massime risultano tutte inferiori alla tensione normale ammissibile, che è pari a:

$$\sigma_{amm} = 5 * \gamma_g - 3 = 350 \text{ kN/m}^2$$

dove  $\gamma_g = 1,4 \text{ t/m}^3$

La stabilità interna è verificata.

### 3.1.13.e Verifica di stabilità globale

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno, è effettuata secondo *l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2)* tenendo conto dei coefficienti parziali riduttivi o amplificativi riportati nelle tabelle corrispondenti. Di ogni concio si deve calcolare il peso (W), la sua componente normale alla superficie (N) (riferito al centro del concio), quella tangenziale (T) e la forza di attrito sulla superficie (Ta).

Le formule per ricavare ciascuno di questi valori sono:

$$W = \gamma_t \cdot V_t + \gamma_c \cdot V_c$$

$$T_{1i} = W_i \times \sin \alpha_i \times \gamma_{G1}$$

$$T_{2i} = \frac{W_i \times \sin \alpha_i}{\gamma_R}$$

Dove gli  $T_{1i}$  sono quelli destabilizzanti e vanno amplificati mediante il coefficiente  $\gamma_{G1}$ , mentre i  $T_{2i}$  sono stabilizzanti e vanno ridotti mediante il coefficiente  $\gamma_R$ , dove  $\gamma_{G1} = 1,0$ .

$$T\alpha_i = N_i \cdot \frac{\text{tg} \varphi}{\gamma_\varphi}$$

dove  $N_i = W_i \cos \alpha_i$  e  $\gamma_\varphi = 1,25$

$$N_i = W_i \cos \alpha_i \cdot \gamma_{G1}$$

dove  $\gamma_{G1} = 1,0$

Con  $V_t$  e  $V_c$  si indicano rispettivamente i volumi di terreno e pietrame di ciascun concio, intendendo come profondità 1 metro.

Si ottiene così la rappresentazione in Figura 6.

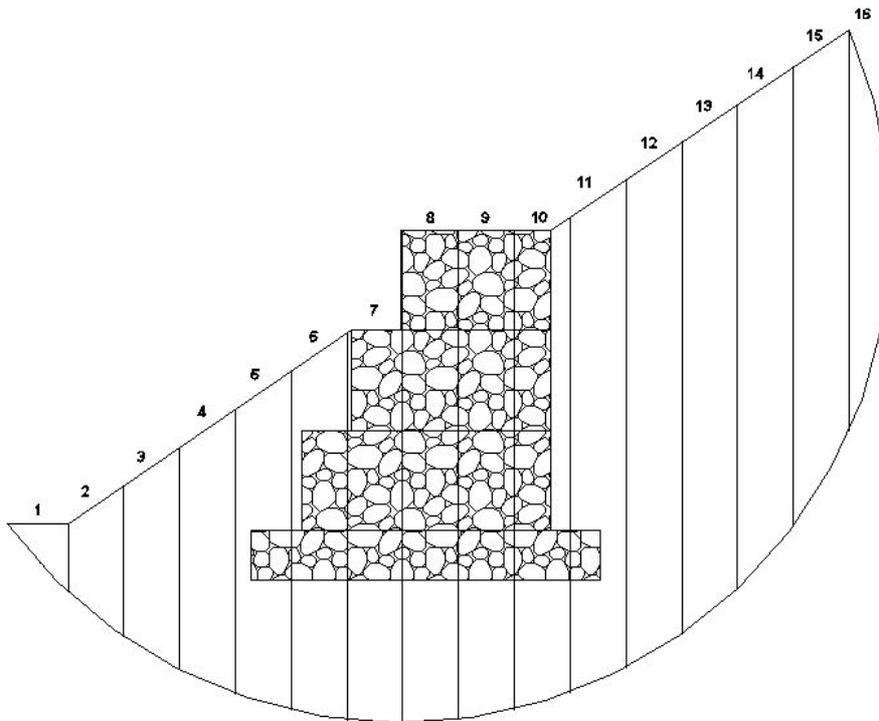


Figura 3.15: Suddivisione in concetti della superficie di scorrimento

La superficie di scorrimento da analizzare, supposta circolare è stata suddivisa in 16 conci. Di ogni concio è stato calcolato il peso (W) considerando le aree (Area T e Area Ga) e i pesi di volume di terreno e pietrame. Con  $\alpha$  si indica l'inclinazione della base del concio i-esimo rispetto all'orizzontale. Si calcola così la forza destabilizzante di ogni concio:

$$E_d = \sum T_{1i}$$

dove i  $T_i$  destabilizzanti sono quelli dal concio 11 al concio 16.

La forza che stabilizza il pendio è data da:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \left( \sum T a_i + \frac{c'L}{\gamma_C} \right) + \sum T_{2i}$$

dove i  $T_i$  stabilizzanti sono quelli dal concio 1 al 10.

$$\gamma_R = 1.1 \quad \gamma_C = 1.25$$

Si riportano nella tabella seguente i valori ottenuti:

Concio	Area T [m <sup>2</sup> ]	Area Ga [m <sup>2</sup> ]	$\alpha$ [°]	W [kN]	T <sub>1</sub> [kN]	T <sub>2</sub> [kN]	N [kN]	Ta [kN]
1	0,17	0	48	3,43	0	2,52	2,27	1,27
2	0,61	0	39	20,61	0	12,91	16,01	8,96
3	1,04	0	31	20,82	0	10,73	17,82	9,97
4	1,41	0	23	28,22	0	11,01	25,94	14,52
5	1,53	0,19	16	35,53	0	9,78	34,12	19,1
6	1,28	0,84	10	47,44	0	8,23	46,71	26,15
7	0,83	1,37	3	52,21	0	2,73	52,12	31,42
8	0,78	1,96	-3	66,58	0	-3,48	66,4	37,18
9	0,75	1,96	-10	65,92	0	-11,44	64,89	36,33
10	1,2	1,36	-17	52,32	0	-15,29	50,01	28
11	2,54	0,15	-24	54,75	-22,24	0	49,97	27,98
12	2,74	0	-31	54,81	-28,22	0	46,97	26,3
13	2,72	0	-39	54,43	-34,23	0	42,27	23,67
14	2,63	0	-48	52,62	-39,08	0	35,19	19,7
15	2,4	0	-59	48	-41,14	0	24,72	13,84
16	1,03	0	-76	20,06	-19,46	0	4,85	2,71
		<b>R<sub>d</sub></b>	<b>322,5</b>	<b>E<sub>d</sub></b>	<b>184,37</b>		<b>Verifica to</b>	

Tabella 20. Risultati verifica a stabilità globale.

$R_d/E_d=1,74$  quindi  $R_d/E_d > 1$ , la verifica è soddisfatta.

### 3.10.2 Rinverdimento del muro di sostegno in gabbioni

Il diffuso utilizzo di opere in gabbioni e gabbioni rinverditi, ha dimostrato che l'evoluzione della vegetazione nel tempo, tende ad aumentare progressivamente i fattori di stabilità statica delle strutture.

Ciò avviene in conseguenza del consolidamento del terreno per effetto simultaneo del drenaggio e della crescita di vegetazione. Quest'ultima, attraverso lo sviluppo delle parti aeree, contribuisce a intercettare e smaltire le acque meteoriche e, attraverso la crescita dell'apparato radicale, ad aumentare le forze resistenti tramite l'azione di rinforzo delle radici e la sottrazione di parte dell'acqua circolante nel terreno.

A seguito della crescita vegetativa vi è, inoltre, una forte diminuzione dell'impatto visivo in quanto in molti casi la vegetazione arriva ad inglobare completamente le strutture, contribuendo a creare, al tempo stesso, microhabitat locali.



Fig. 3.16a e 3.16b: evoluzione della crescita vegetativa su un muro a gabbioni

Si tratta quindi di strutture che bene si prestano all'utilizzo di tecniche finalizzate alla rivegetazione attraverso lo sviluppo di essenze sia erbacee che arbustive.

La creazione di tasche vegetative di varie dimensioni, in corrispondenza del paramento frontale gradonato dei muri di sostegno in gabbioni, rappresenta una tecnica diffusa e prescritta da molti i manuali di Ingegneria Naturalistica pubblicati da vari Enti internazionali e nazionali.

Le gabbionate possono essere rinverdite con inserimento di talee durante le fasi costruttive; queste, mediante le loro radici conferiscono una maggiore stabilità al pendio.

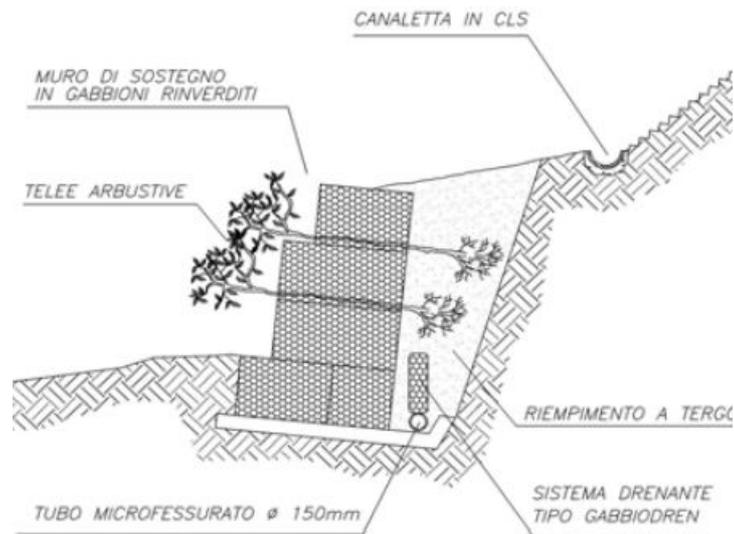


Figura 3.17: Esempio di utilizzo delle talee nei muri a gabbioni

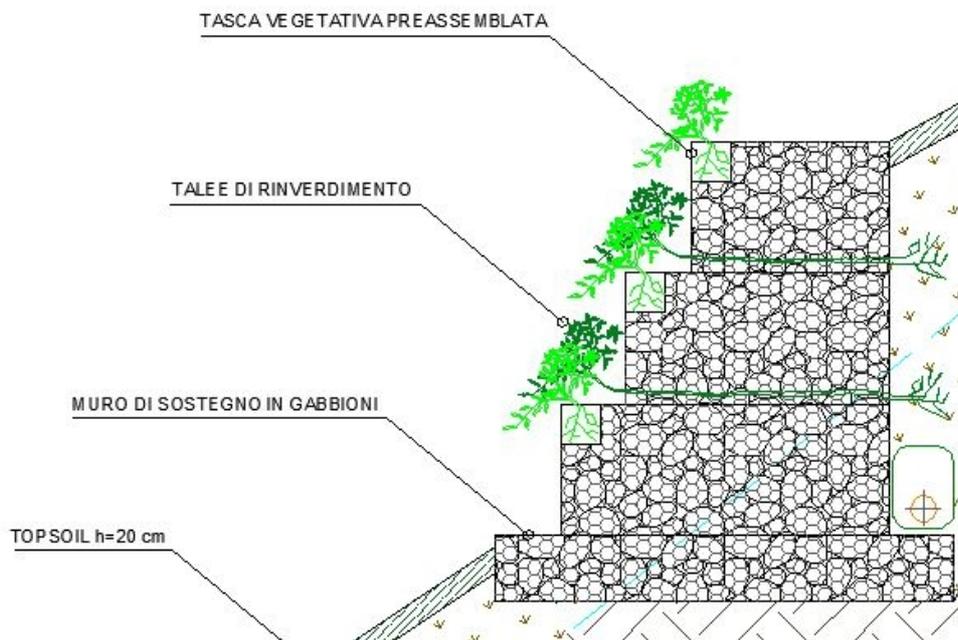


Figura 3.18: Esempio di uso combinato di talee e sacche rinverdite

La realizzazione di opere combinate di Ingegneria Naturalistica con gabbioni e talee ha una importante funzione di mitigazione dell’impatto ambientale, inserimento paesaggistico e miglioramento della

funzionalità geotecnica nel tempo grazie al drenaggio dovuto ai gabbioni e al rinforzo diffuso fornito degli impianti radicali.

Nel caso di studio si è optato per l'utilizzo combinato di talee arbustive e di gabbioni dotati di sacca vegetativa di dimensioni 30 x 30 cm.

Nella figura 3.18 si può osservare che, grazie al forte rinverdimento provocato da talee e tasche vegetative, il pietrame costituente il muro, rimane quasi completamente nascosto oltre la folta vegetazione.

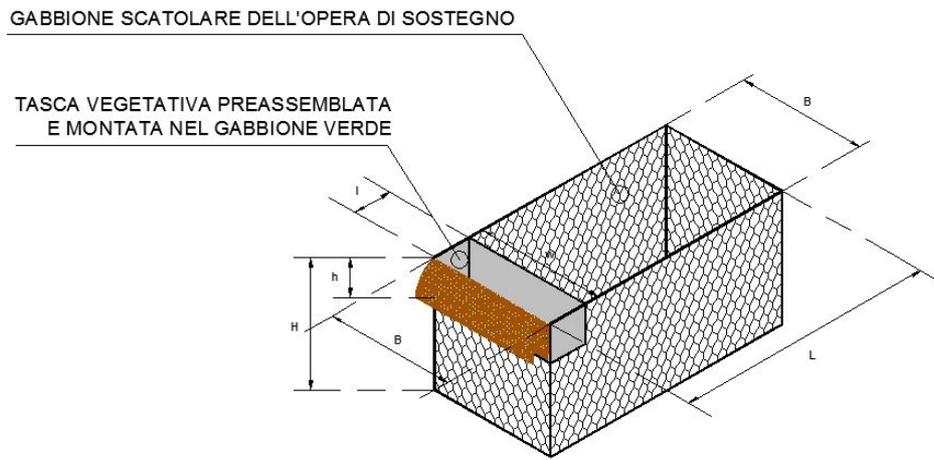


Figura 3.19: Gabbione con sacca rinverditata

Per evitare lo sfilamento delle talee è necessario, in fase di installazione, applicarle nella parte inferiore del gabbione al di sopra della prima fila di pietrame di riempimento, così come mostrato in figura:

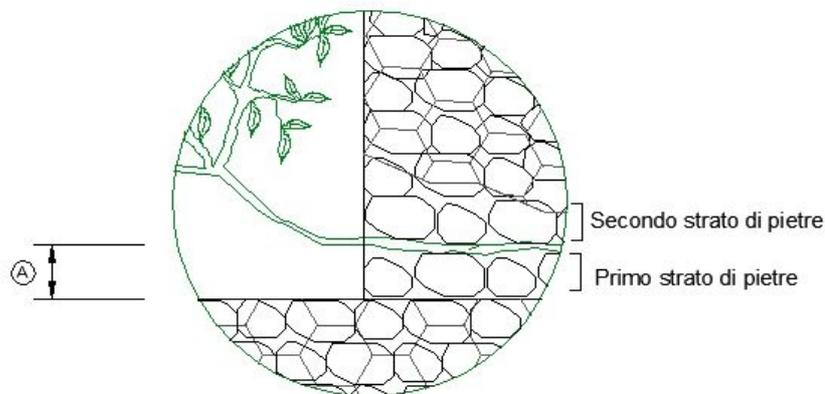


Figura 3.20: Particolare installazione talee



## **CAPITOLO 4 : DEFINIZIONE DELLE SEZIONI TIPO E PARTICOLARI COSTRUTTIVI**

### **4.1 INTRODUZIONE**

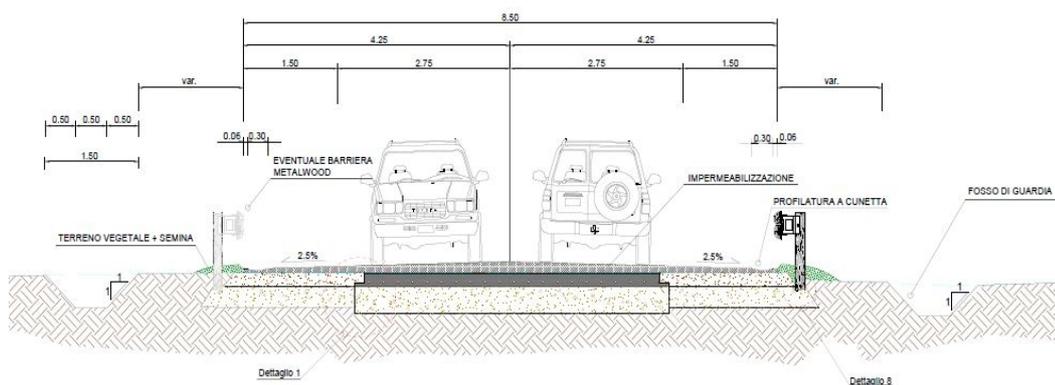
Di seguito saranno descritte in dettaglio le scelte progettuali adottate per la realizzazione delle sezioni tipo, approfondendo le caratteristiche e peculiarità dei materiali scelti per la costruzione della sede stradale.

Relativamente alla scelta dei materiali, verranno approfonditi gli aspetti sull'incidenza ambientale, spiegando come l'utilizzo di determinati materiali contribuisca a mitigare le esternalità che la realizzazione dell'infrastruttura comporta.

Saranno inoltre descritti, i particolari costruttivi scelti per la messa in opera della pavimentazione, fondamentali per realizzare un'opera duratura e funzionale nel corso di tutta la sua vita utile.

In tutto il capitolo si farà riferimento alle tavole 4, 4.1 e 4.2 allegate a questa trattazione.

### **4.2 SEZIONE TIPO IN RILEVATO**



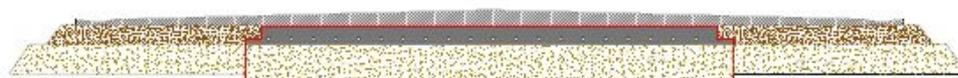
*Figura 4.1: Sezione in rilevato con vecchia pavimentazione*

Questa sezione tipo fa riferimento ai tratti di strada in rilevato nei quali si è scelto di utilizzare la vecchia pavimentazione come fondazione per la nuova infrastruttura.

#### 4.2.1 Pacchetto stradale

È bene ricordare che una delle maggiori problematiche riscontrate nella analisi della strada esistente, è rappresentata dalla estrema variabilità della larghezza della carreggiata, causa questa di un notevole deficit per la sicurezza della circolazione. Al fine di mantenere uniforme la dimensione della carreggiata, si è deciso di affiancare alla vecchia pavimentazione due allargamenti laterali in modo di ottenere lungo lo sviluppo della infrastruttura una larghezza costante pari a 8,50 m.

Detti allargamenti, saranno realizzati come pavimentazioni flessibili costituiti da strati legati in superficie (usura e base) e da strati non legati in profondità formati da materiali inerti (fondazione). La parte centrale della pavimentazione, facente parte della infrastruttura preesistente, invece, è composta da un massetto in calcestruzzo rinforzato e da uno strato di base in stabilizzato granulometrico, costituendo di fatto una pavimentazione rigida. Il risultato finale sarà dunque una sovrastruttura stradale flessibile ai lati e rigida al centro.

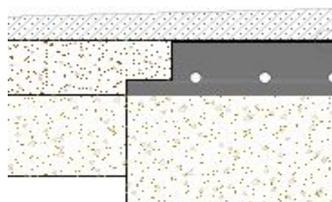


*Figura 4.2: Pavimentazione rigida al centro a flessibile ai lati*

Al fine di rendere il più solidale possibile la vecchia pavimentazione e quella nuova, si è optato di sagomare gli angoli superiori del massetto in calcestruzzo, formando due gradini quadrati di lato 15 cm.

La scelta di questo dettaglio costruttivo è stata fatta per contrastare eventuali movimenti relativi tra le due parti della pavimentazione durante la fase di esercizio. Ne deriva che, aumentando la superficie di contatto tra i due strati, si registra una maggiore componente di attrito traducibile in una migliore stabilità relativa e anche in una più efficace resistenza alle sollecitazioni indotte.

Nella parte superficiale della intera pavimentazione è stata prevista la stesura di uno strato di usura in Biostrasse di spessore variabile tra i 12 cm al centro della carreggiata a 6 cm ai bordi; tale variabilità è dovuta alla pendenza trasversale della pavimentazione necessaria per lo smaltimento delle acque.



*Figura 4.3: Sagomatura a gradino dello spigolo superiore del massetto*

Onde evitare fenomeni di infiltrazione d'acqua nel massetto in calcestruzzo, si è pensato di porre in opera, tra massetto e Biostrasse, uno strato di impermeabilizzazione dello spessore di 2 cm.

L' impermeabilizzazione consiste nella applicazione di un materiale granulare fine, ad esempio sabbia, sulla superficie del massetto in calcestruzzo. La sabbia, grazie alla sua granulometria ridotta, riesce a penetrare e quindi riempire, eventuali fessure presenti sul massetto, fungendo quindi da materiale impermeabilizzante.

#### **4.2.1.a Strato di usura: Biostrasse**

Si è scelto di adoperare per lo strato di usura, un conglomerato innovativo che garantisce un impatto ambientale di gran lunga inferiore rispetto ai conglomerati bituminosi tradizionali: il Biostrasse.

Il Biostrasse è un legante che agisce sulla conglomerazione intergranulare a livello chimico-fisico che consente di creare massetti stradali per il traffico leggero, medio e pesante. Grazie alla sua compatibilità ambientale certificata, può essere utilizzato ovunque, anche in aree protette e soggette a particolari vincoli ambientali e paesaggistici, nonché in zone SIC (Siti d'Interesse Comunitario), ZPS (Zone a Protezione Speciale), ZSC (Zone Speciali di Conservazione) o laddove

esistano limitazioni all'uso di materiali non eco-compatibili, essendo totalmente privo di componenti di derivazione petrolifera [6].

Il Biostrasse, essendo privo di materie plastiche, non è soggetto ad avvallamenti o rigonfiamenti; è particolarmente resistente agli agenti atmosferici, ai cloruri ed ai trattamenti antigelo e viene steso anche con temperature rigide (a partire da + 5°) . La presenza all'interno del massetto delle micro bolle, oltre a rendere la pavimentazione permeabile, garantisce una sensibile riduzione del rumore da rotolamento dei pneumatici.

Il conglomerato è composto sostanzialmente da:

- Inerti:
  - Aggregati di cava per sovrastrutture spaccati e lavati;
  - Sabbia 0/6; ghiaietto pulito 4/8; ghiaietto pulito fino a 16 mm;
  - Equivalente in sabbia superiore a 82;
- Cemento:
  - Cemento Portland 42,5 R ;
- Acqua;
- Biostrasse;
- Pigmenti;

Le pavimentazioni in Biostrasse sono colorate per l'intero spessore con pigmenti naturali. L'utilizzo di colorazioni chiare migliora la visibilità notturna, favorendo la sicurezza dell'utente oltre a ridurre i costi di illuminazione.



*Figura 4.4: Alcune realizzazioni dello strato di usura con Biostrasse*

La colorazione mediante i pigmenti naturali, fornendo colori più chiari delle classiche pavimentazioni in conglomerato bituminoso, rende l'infrastruttura meno impattante dal punto di vista visivo. La permeabilità delle pavimentazioni realizzate con Biostrasse eliminano l'effetto aquaplaning e la polverizzazione dell'acqua causata dai veicoli in movimento, inoltre, la macro rugosità di tali pavimentazioni, aumenta la trazione dei pneumatici e l'aderenza.

Un altro fattore vantaggioso del utilizzo del Biostrasse riguarda la sua economicità. La totale assenza di sostanze derivate del petrolio, svincolano Biostrasse dalle speculazioni internazionali su queste materie prime. Inoltre, non prevede l'impiego di armature, ne di giunti di dilatazione. Necessita di sbancamenti ridotti e ha un indice di usura molto basso da cui consegue una minore necessità di interventi di manutenzione. La stesura monostrato e l'impiego di macchinari tradizionali, concorrono ad una sensibile riduzione di costi e tempi di realizzazione.[6]

La convenienza dell'uso di tale conglomerato è dovuto quindi alle sue caratteristiche di performance, sicurezza ed economicità:

- Elevata resistenza di carico;
- Bassa usura;
- Resistente all'erba e alle radici;
- Resistente ai cloruri;
- Resistente alle nebbie saline;
- Funge da tagliafiamma;
- Abbatte il rumore di rotolamento del pneumatico;
- Atermico;
- Ottima aderenza;
- Colorazione chiara per migliore visibilità;
- Drenante;
- Riduce il riflesso dei fari in caso di strada bagnata;
- Lavorazione a freddo;

- Non necessita di giunti di dilatazione, cordoli e armature;
- Stesura in monostrato (stesura rapida);
- Manutenzione semplice;
- Lavorabile con macchinari tradizionali;
- Possibilità di additarlo con microfibre strutturali per aumentarne la flessione;
- Interamente riciclabile;

Dal punto di vista ambientale Biostrasse è attualmente l'unica tecnologia certificata ad "Impatto Ambientale Zero". Grazie alla totale assenza di sostanze plastiche e derivati da carboni fossili, le opere realizzate con Biostrasse non hanno nessun rilascio nocivo né per l'uomo né per l'ambiente. Mentre le tradizionali pavimentazioni stradali, vengono di norma stese a temperature di 110/150° C con un alto consumo energetico ed emissioni inquinanti, quelle in Biostrasse prevedono la stesura a freddo.

L'impermeabilizzazione del suolo dovuta alla realizzazione di pavimentazioni con prodotti derivati dai carboni fossili, costituisce una delle cause di dissesto idrogeologico e non permette una gestione sostenibile delle acque meteoriche influenzando negativamente le condizioni microclimatiche. Le pavimentazioni realizzate con Biostrasse, essendo permeabili, favoriscono il mantenimento del microclima non compromettendo la funzione del suolo di cattura di CO<sub>2</sub> ed inoltre, impediscono l'alterazione della composizione chimica dell'acqua drenata.

#### **4.2.2 Sistemi di Smaltimento delle acque superficiali**

Data la scarsità delle precipitazioni, dedotta da studi pluviometrici riportati nel capitolo 1, si è scelta la soluzione di non installare le cunette prefabbricate al lato strada, ma bensì, di profilare lo stesso strato di usura a forma di cunetta.

Come sistema di smaltimento delle acque si è optato per :

- Pendenza trasversale della carreggiata a schiena d'asino del 2,5% ;
- Profilatura a cunetta dei bordi laterali della pavimentazione ;
- Canalette ad embrice ogni 150 metri ;
- Conglomerato superficiale drenante (Biostrasse) ;
- Fossi di guardia scavati nel terreno;

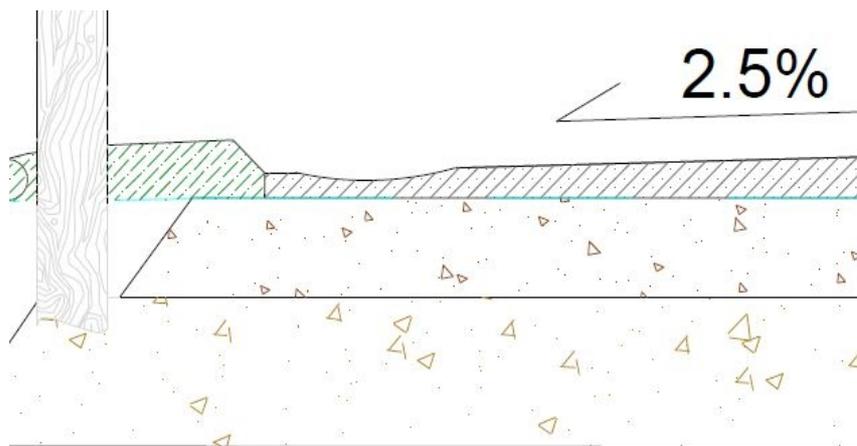


Figura 4.5: Profilatura a cunetta dello strato di usura in Biostrasse

Oltre al vantaggio economico di non dover trasportare ed installare le cunette prefabbricate, questa soluzione, è anche meno impattante visivamente, considerato che tali organi sono realizzati in calcestruzzo. Per il deflusso dell'acqua negli appositi fossi di guardia, si è pensato di inserire ogni 100 metri solo l'imbocco per le canalette ad embrice, lasciando al terreno, e alla gravità, il compito di condurla nel fosso di guardia.

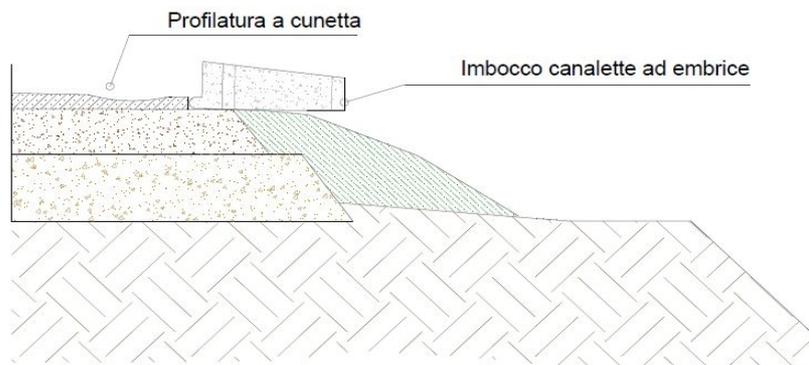


Figura 4.6: Profilatura a cunetta e imbocco canalette ad embrice

Il motivo per il quale non si è optato per l'installazione di fossi di guardia prefabbricati, ma si è deciso di scavarli direttamente nel terreno, è lo stesso per il quale non è stato contemplato l'uso di cunette in calcestruzzo.

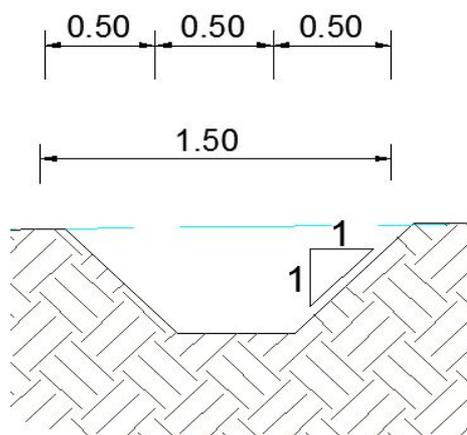


Figura 4.7: Fosso di guardia scavato nel terreno

#### 4.2.3 Pavimentazione nelle varianti

La pavimentazione prevista per le due varianti del tracciato, dalla progressiva 2420 alla 2580 e dalla progressiva 3400 alla 3500, ricalca sostanzialmente quella descritta nel paragrafo 4.2, a meno della presenza della pavimentazione preesistente come fondazione per il pacchetto stradale. Si avrà quindi una pavimentazione di tipo flessibile su tutta la larghezza della carreggiata, così come mostrato nella figura successiva. Si è deciso, inoltre, di riciclare gli strati non legati della vecchia pavimentazione scarificata, quali misto cementato e stabilizzato granulometrico, per la costruzione della nuova.



Figura 4.8: Pavimentazione nelle varianti di tracciato

### 4.3 SEZIONE TIPO A MEZZACOSTA

La maggiore problematica da risolvere, nei tratti aventi sezione a mezzacosta, è rappresentata dalla difficoltà di smaltimento delle acque superficiali nella parte della carreggiata verso monte.

A tal fine si è pensato di installare una trincea drenante in questa parte della pavimentazione, in maniera tale da raccogliere l'acqua proveniente dalla semicarreggiata sinistra e dal terreno a monte della stessa.

È stata scartata l'ipotesi di utilizzare pozzetti drenanti in calcestruzzo che, per questioni costruttive, avrebbero richiesto l'asportazione parziale della pavimentazione preesistente e frequenti interventi di manutenzione (vedi paragrafo 3.6).

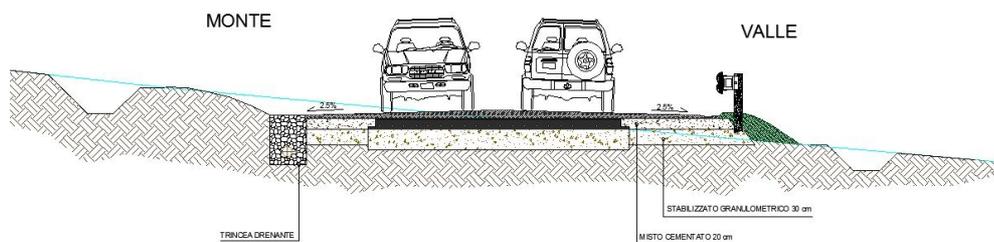


Figura 4.9: Sezione tipo a mezzacosta con trincea drenante

In questa configurazione, il fosso di guardia di monte, ha il solo scopo di intercettare l'acqua che scende dalla scarpata, impedendole quindi di raggiungere la carreggiata.

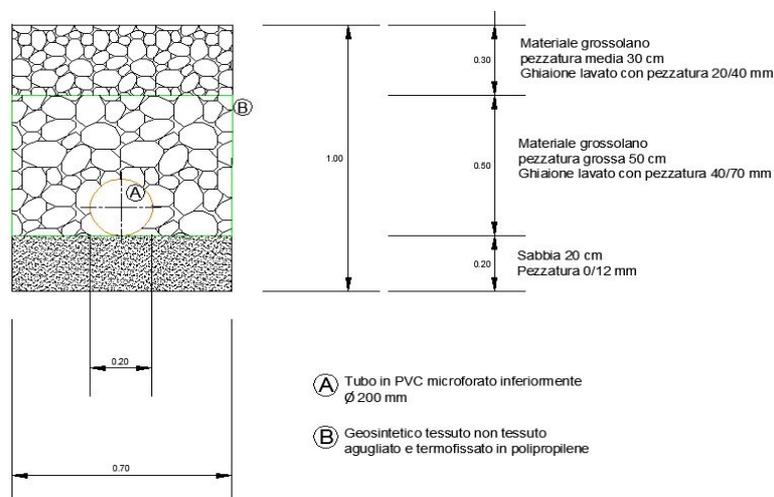


Figura 4.10: Trincea drenante

La trincea drenante è composta sostanzialmente da tre strati:

- Strato superficiale - Ghiaione lavato con pezzatura media 20/40 mm;
- Strato intermedio - Ghiaione lavato con pezzatura grossa 40/70 mm;
- Tappo in Sabbia con pezzatura 0/12 mm;

Lo strato intermedio a pezzatura grossa, è circondato da un geosintetico tessuto non tessuto avente funzione di anti-contaminante, impedendo cioè alla sabbia sottostante e ad eventuali agenti contaminanti (rami, foglie, etc.), di occludere i pori intergranulari, possibile causa di compromissione della capacità drenante della trincea stessa. All'interno di tale strato verrà inoltre installato un tubo in PVC microforato, di diametro 200 mm, con lo scopo di convogliare l'acqua raccolta, verso il pozzo drenante adiacente. Nei tratti a mezza costa si è prevista l'installazione di un pozzo drenante quadrato per ogni 100 metri di trincea. Questo pozzo, raggiungendo una profondità maggiore della trincea, permette di smaltire in profondità le acque provenienti da essa. Tale procedimento è reso possibile in quanto il terreno sopra al quale sarà realizzata l'infrastruttura è composto principalmente da breccia calcarea, materiale drenante grazie alla sua matrice porosa. Il pozzo drenante, profondo 2.7 metri, è composto da due strati, uno di materiale grossolano a grana grossa (40/70 mm), e uno di sabbia avente pezzatura 0/12 mm.

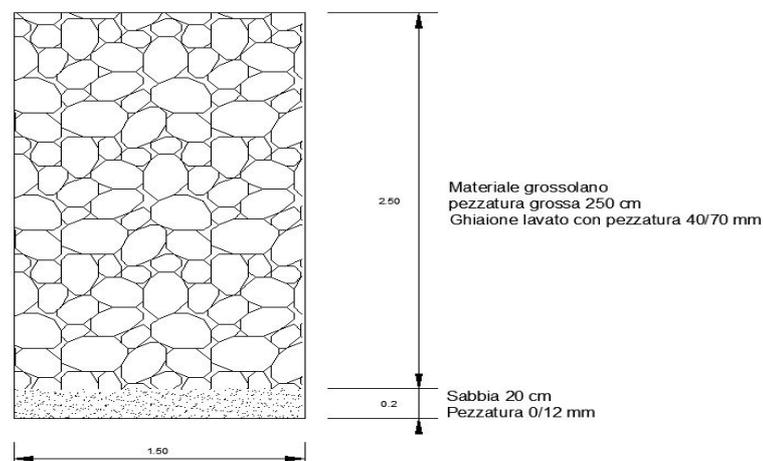


Figura 4.11: Pozzo drenante

## Capitolo 4 – Definizione delle sezioni tipo e particolari costruttivi

In pianta è possibile notare le parti terminali delle trincee che convogliano verso il pozzo drenante; sarà necessario prolungare i 2 tubi in PVC delle trincee verso l'interno del pozzo drenante per una lunghezza pari a 30 cm.

Questo consentirà all'acqua che arriva dalle trincee di raggiungere la zona centrale del pozzo, e di essere quindi drenata in profondità.

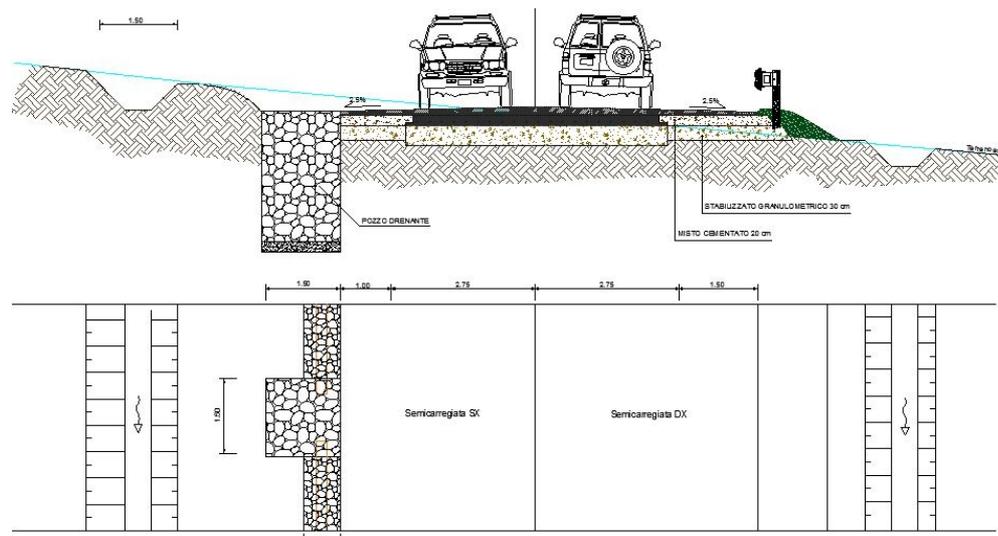


Figura 4.12: Sezione e pianta con pozzo drenante

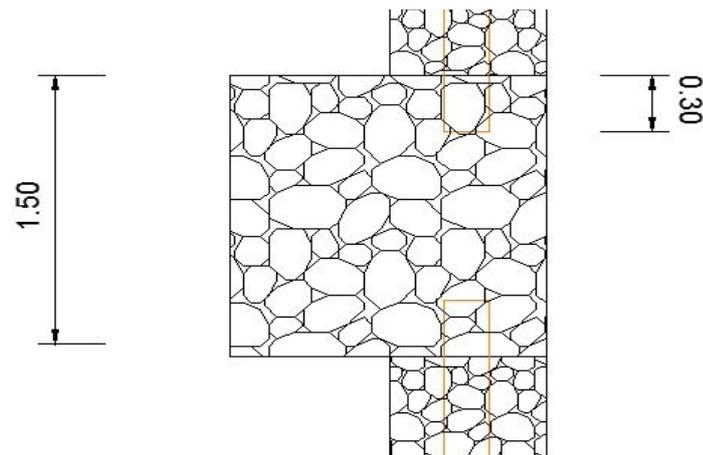


Figura 4.13: Penetrazione tubi in Pvc delle trincee nel pozzo drenante

#### 4.4 SEZIONE TIPO A MEZZACOSTA CON MURO DI SOSTEGNO IN GABBIONI

Per la definizione della sezione tipo a mezzacosta con muro di sostegno in gabbioni di sottoscarpa, si fa riferimento alla tavola n° 4.1 allegata.

Come spiegato nel capitolo 3, si è deciso di mettere in opera un muro di sostegno in gabbioni in quanto è un'opera decisamente compatibile con il contesto territoriale ed essendo possibile rinverdirlo, si limita fortemente l'impatto visivo che esso genera.

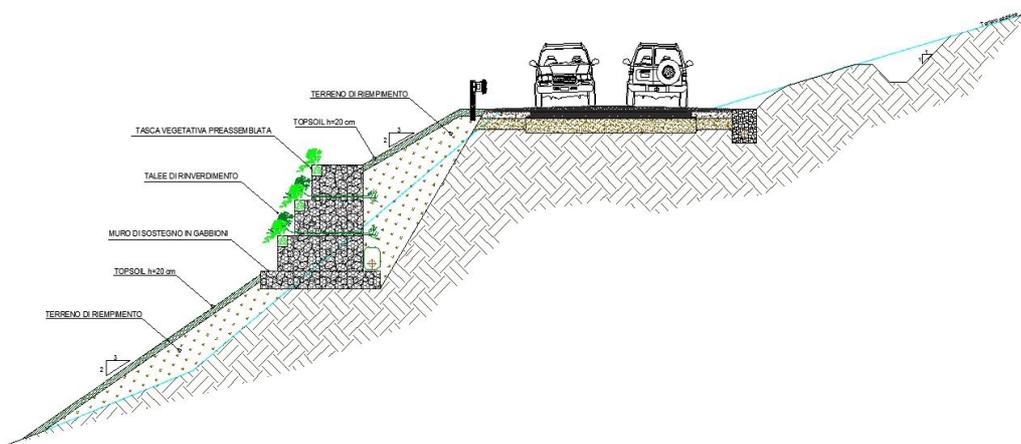


Figura 4.14: Sezione tipo a mezzacosta con muro di sostegno in gabbioni

Per la realizzazione dell'allargamento della carreggiata del quale si è parlato nel sottoparagrafo 4.2.1 dai 5,50 metri della pavimentazione preesistente, a 8,50 metri della nuova, si è ritenuto necessario realizzare un muro di sostegno di sottoscarpa capace di stabilizzare il versante a valle della carreggiata. Si temeva, difatti, che nella fase di esercizio della infrastruttura, sotto il peso di veicoli aventi elevata massa complessiva a pieno carico, la carreggiata potesse conseguentemente cedere.

La realizzazione del muro di sostegno in gabbioni comporta una serie di fasi costruttive ben organizzate:

1. Scavo e realizzazione terrazzamento per la fondazione del muro;

2. Assemblaggio dei gabbioni costituenti il muro e installazione delle talee;
3. Realizzazione del drenaggio alla base del muro;
4. Riempimento dei gabbioni con apposito materiale;
5. Rinverdimento del muro;

La fase sicuramente più delicata della realizzazione, riguarda i lavori di scavo e realizzazione del terrazzamento. Scavando, infatti si rischia che a causa del peso proprio della pavimentazione, il versante perda la sua stabilità e si verifichi uno smottamento della scarpata. Onde evitare che ciò accada si è pensato, prima di effettuare lo sbancamento, di ricorrere alla infissione temporanea di palancole in acciaio per mantenere stabile il versante durante la fase di assemblaggio del muro.

Queste palancole in acciaio, nonostante non siano compatibili con il contesto territoriale, non rappresentano tuttavia una criticità ambientale in quanto saranno messe in opera temporaneamente, per un periodo che va dallo scavo per realizzare il terrazzamento fino all'assemblaggio del muro. Successivamente verranno sistemati i gabbioni con pietrame di riempimento per conferire al muro il peso necessario tanto da resistere alle sollecitazioni. In questa fase vengono installate anche le talee, prestando attenzione a non inserirle nella interfaccia tra un gabbione e l'altro, ma inserendole superiormente ad un primo strato di pietrame di riempimento.

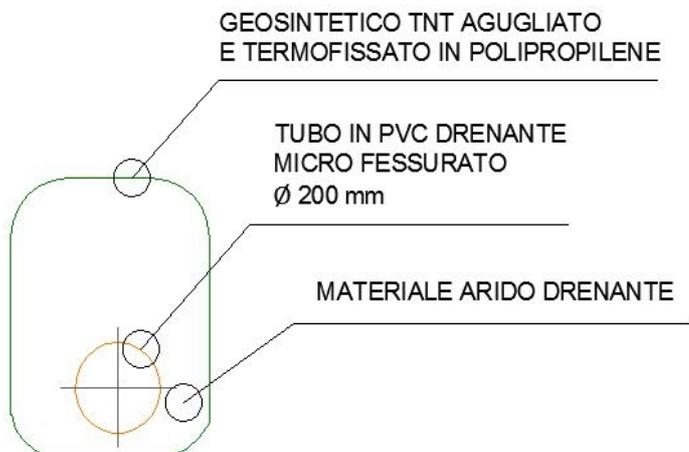


Figura 4.15: Drenaggio alla base del muro

Nella fase successiva si realizza un drenaggio alla base del muro, per la regimazione delle acque.

Questo drenaggio è costituito da un tubo in PVC microforato inglobato in un materiale arido drenante e viene avvolto in un geosintetico non tessuto per evitarne la contaminazione.

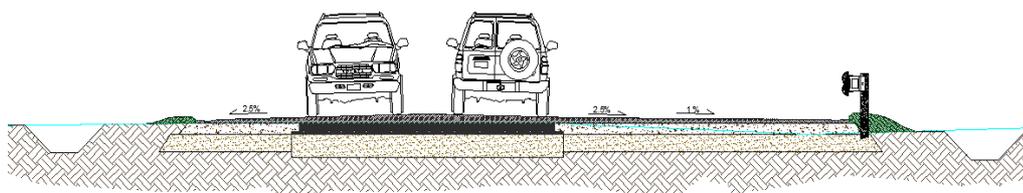
Una volta realizzato il drenaggio si passa a riempire le zone precedentemente scavate per la costruzione del muro, con del materiale di riempimento.

Considerato che non è necessario che questo materiale posseda elevate caratteristiche meccaniche in quanto non ha alcuna funzione strutturale, si è pensato di adoperare come materiale di riempimento, il terreno precedentemente scavato. In questa maniera si ha un duplice vantaggio: si evita di portare ulteriore materiale sull'isola e si riducono le esternalità ambientali della cantierizzazione, grazie ad un minore numero di mezzi necessari per il trasporto.

Per quanto riguarda la pavimentazione, sono state fatte considerazioni del tutto analoghe a quelle riportate nel sotto-paragrafo 4.2.1 .

#### **4.5 SEZIONE TIPO CON PIAZZOLA DI SOSTA**

Sono state dislocate sul tracciato tre piazzole di sosta, due in direzione Cala Reale e una in direzione Fornelli in punti strategici dai quali è possibile beneficiare di un fantastico paesaggio dovuto alla alta naturalità dell'isola dell' Asinara.



*Figura 4.16: Sezione tipo con piazzola di sosta*

I dettagli costruttivi utilizzati per la seguente sezione, riguardo a pavimentazione e sistemi di smaltimento delle acque superficiali, sono i medesimi descritti nel paragrafo 4.2 .

Per realizzare tali piazzole di sosta, si sono progettati degli allargamenti della carreggiata di 3.5 metri oltre la banchina, arrivando ad una larghezza complessiva di 12 metri.

Anche in questa sezione si è optato per il mantenimento della pavimentazione preesistente come fondazione per la nuova, realizzando quindi degli allargamenti della stessa, costituiti da pavimentazioni flessibili su entrambi i lati della vecchia pavimentazione.

Si è deciso di dare una pendenza trasversale alla piazzola di sosta pari all' 1% necessaria allo smaltimento delle acque superficiali. Essendo le tre piazzole localizzate in tratti aventi sezione in rilevato, non è stato necessario installare delle trincee drenanti.

Come si evince dalla figura 4.16, si è scelto di mettere in opera una barriera di tipo Metalwood all' estremità della piazzola. Per dare la possibilità agli utenti in sosta di uscire dalla sede stradale e usufruire del paesaggio, sono state realizzate delle particolari aperture lungo questi organi di ritenuta. Al fine di garantire la sicurezza e far sì che le parti terminali di queste barriere non rappresentino un pericolo per gli utenti in transito, si è ritenuto opportuno piantarle nel terreno così come mostrato nelle seguenti immagini.



*Figura 4.17 e 4.18: Parti terminali delle barriere metalwood infisse nel terreno*



---

## Conclusioni

*L'efficacia della progettazione sensibile al contesto territoriale è una realtà che sempre più si sta affermando nell'ambiente ingegneristico. Minimizzare le esternalità indotte nel territorio dalla realizzazione di una infrastruttura viaria è il principio cardine sul quale si basa il Context Sensitive design. Lo scopo di questo progetto, finalizzato alla realizzazione di un ammodernamento della strada principale dell'isola dell'Asinara, più fruibile e utilizzabile al pubblico, più sicura e più confortevole, è stato raggiunto considerando contestualmente a queste caratteristiche, la compatibilità della sede viaria con l'intero contesto territoriale. Il Parco Nazionale dell'Asinara, essendo classificato come area SIC (Sito di Interesse Comunitario), è soggetto a numerose limitazioni riguardanti l'utilizzo del suolo e delle sue risorse; serve dunque, un tipo di approccio progettuale capace di conciliare le esigenze funzionali a quelle ambientali. Per questo motivo si è deciso di utilizzare ai fini dell'adeguamento della viabilità, il CSD, che rappresenta la via progettuale più congrua per realizzazioni in aree particolarmente sensibili come l'Asinara. Con le procedure descritte da questo approccio, e mediante l'utilizzo di materiali naturali come elementi strutturali, si sono risolte diverse problematiche che la direttrice viaria presentava; si è realizzato un efficiente sistema di smaltimento delle acque superficiali utilizzando trincee drenanti costituite di materiale grossolano o ancora un muro di sostegno in gabbioni utilizzando come riempimento pietra locale, o uno strato di usura della pavimentazione con un conglomerato a basso impatto ambientale quale il Biostrasse, o ad esempio il rinverdimento del muro in gabbioni con vegetazione autoctona.*

*Alla luce di quanto realizzato in questa trattazione, sarebbe interessante estendere certe applicazioni ad altri contesti; ricercare, ad esempio, rimedi, soluzioni e materiali per rendere le infrastrutture presenti nel tessuto urbano, in zone sensibili o in aree di particolare interesse*

---

*comunitario, più verdi e vivibili, nonché funzionali. Si potrebbero, anche, condurre ricerche su un conglomerato simile al Biostrasse in grado però di resistere a volumi di traffico ben maggiori di quelli attualmente supportati, in modo da poterlo adoperare anche in ambito urbano. In questo modo si prescinderebbe dalla indispensabilità dei prodotti derivanti da sostanze petrolifere per la realizzazione delle strade.*

*Uno spunto di riflessione, per studi futuri riguardanti questa trattazione, può riguardare la cantierizzazione in fase di costruzione dell'opera. Come ben sappiamo l'utilizzo di macchinari, il trasporto dei materiali e tutte le attività pratiche volte alla realizzazione di una infrastruttura, hanno un impatto notevole sull'ambiente circostante dovuto a rumore, vibrazioni ed emissioni. Sarebbe utile quindi studiare nel dettaglio come mitigare le esternalità prodotte, così da non creare eccessivo disturbo agli habitat presenti nel territorio durante le fasi di realizzazione/costruzione dell'infrastruttura viaria.*

*Affrontare la questione economica legata al trasporto dei materiali, alla loro reperibilità e alla possibilità di adoperare risorse estraibili in sito rappresenterebbe un approfondimento interessante. Agendo secondo le modalità del CSD, i costi di realizzazione di un'opera risultano inferiori rispetto a quelli da affrontare con metodi tradizionali; questo perché in ambito di progettazione sensibile al contesto, si cerca per quanto possibile di usare materiali reperibili nel contesto medesimo, limitando fortemente i costi dovuti al trasporto ed ai macchinari necessari e con il vantaggio di utilizzare materie prime autoctone.*

*Sarebbe produttivo, inoltre, pensare di rivisitare completamente il secondo tratto di strada da Cala Reale a Cala d'Oliva, magari realizzando delle varianti nelle quali riutilizzare interamente materiali di riciclo ricavati dalla scarificazione della pavimentazione preesistente. L'utilizzo inoltre di muri di sostegno in gabbioni per la stabilizzazione delle scarpate, anche in questo tronco, conferirebbe all'opera una buona continuità territoriale e costruttiva con il primo tratto studiato in questo*

---

*elaborato, senza compromettere gli equilibri ambientali; obiettivo questo in accordo con i principi del Context sensitive design.*

*Si auspica che, queste metodologie operative, possano diventare criteri guida per ogni tipo di intervento infrastrutturale, e che, unitamente a più efficaci contenimento dei costi, ed ad una più rigorosa e sistematica manutenzione dei beni realizzati, si possano godere le numerose aree naturali esistenti e, al contempo, si possa disporre di opere sempre più efficienti e funzionali.*

---

---

## **Bibliografia**

[1] - “Studio di fattibilità per l'attivazione del Parco dell'Asinara” - Ente parco nazionale dell'Asinara.

[2] - Dispense del corso “Inserimento e compatibilità delle infrastrutture nel territorio” - di C. Sangiorgi.

[3] - “La continuità territoriale e le infrastrutture viarie: principali tematiche e prospettive” - di C. Ercolani.

[4] - “Piano del Parco nazionale dell'Asinara” - Ente parco e Team Prof. Maciocco dell'Università degli studi di Sassari.

[5] - “Disciplina della circolazione veicolare sulle strade dell'Isola dell'Asinara, Comune di Porto Torres. Modifica parziale delle prescrizioni contenute nell'ordinanza n°1 del 23 marzo 2010” - Ordinanza n°2 del 7 Maggio 2010 dell' Agenzia conservatoria delle coste.

[6] - “Legge quadro sulle aree protette” legge n° 394/91.

## **Siti internet**

[A] - [Www.parcoasinara.org/](http://Www.parcoasinara.org/) .

[B] - [Www.comune.porto-torres.ss.it/](http://Www.comune.porto-torres.ss.it/)

[C] - [Www.comune.stintino.ss.it](http://Www.comune.stintino.ss.it)

[D] - [Www.demos.ss.it/asinara/](http://Www.demos.ss.it/asinara/)

---

---

---

## **Allegati**

- Tavola 1 : Planimetria generale con viabilità principale e secondaria;
- Tavola 2.1 : Planimetria dello stato di fatto + Quadro di unione;
- Tavola 2.2 : Profilo altimetrico dello stato di fatto;
- Tavola 2.3 : Criticità della viabilità primaria;
- Tavola 3.1 : Planimetria di progetto + Quadro di unione;
- Tavola 3.2 : Profilo altimetrico di progetto;
- Tavola 4 : Sezioni tipo varie;
- Tavola 4.1 : Sezione tipo con muro di sostegno in gabbioni;
- Tavola 4.2 : sezione tipo con piazzola di sosta;

---