

ASSE VIARIO MARCHE-UMBRIA
E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA
MAXILOTTO 1

PROGETTO DEFINITIVO

CONTRAENTE GENERALE

Val di Chienti
S.C.p.A.

IL RESPONSABILE DEL CONTRAENTE GENERALE

Val di Chienti S.C.p.A.
Via Trieste, 76 - 48100 RAVENNA

STRABAG
A.G. sede secondaria Italiana
Viale Stazione n. 7 - I - 39100 Bolzano
Brescia

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

ATI: TECHNITAL s.p.a. (mandataria)

SCETAURROUTE

SICS s.r.l. Società Italiana Consulenza Strade

S.I.S. Studio di Ingegneria Stradale s.r.l.

SOIL Geologia Geotecnica Opere in sotterraneo Difesa del territorio



INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Dott. Ing. M. Raccosta

I RESPONSABILI DI PROGETTO

Dott. Ing. M. Raccosta
Ordine Ing. Verona n° A1665

Dott. Ing. L. Samama

Dott. Ing. T. Di Bari
Ordine Ing. Taranto n° 1083

Prof. Ing. A. Bevilacqua
Ordine Ing. Palermo n° 4058

Dott. Ing. L. Albert
Ordine Ing. Milano n° A14725

IL GEOLOGO

Dott. Geol. F. Ferrari
Ordine dei Geologi Regione del Veneto n° 60

VISTO:IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. ~~Andrea Simonini~~

VISTO:IL RESPONSABILE DEL
SERVIZIO PROGETTAZIONE

DATA

LA DIREZIONE LAVORI

SUBLOTTO 1.2: S.S. 77 "VAL DI CHIANTI" TRONCO PONTELATRAVE - FOLIGNO
TRATTI FOLIGNO-VALMENOTRE E GALLERIA MUCCIA-PONTELATRAVE (inclusa galleria)

RELAZIONE TECNICA GENERALE

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050010 (Delibera CIPE 13/2004)

REVISIONE

FOGLIO

SCALA

CODICE ELAB. o FILE	Opera	Lotto	Stato	Settore	WBS	Disciplina	Tipo Doc.	N. Progress.
L0703	A1	D	P	GENER00	GEN	REL	002	

B

01 01

-

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	APPROVATO RESP. TECNICO ANAS
D						
C						
B	REVISIONE	06/07/2007	P. Versace	P. Versace	M. Raccosta	
A	EMISSIONE	15/12/2006	P. Versace	P. Versace	M. Raccosta	

**ASSE VIARIO MARCHE - UMBRIA
E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA**

MAXILOTTO 1

SUBLOTTO 1.2

**S.S. 77 "VAL DI CHIANTI"
TRONCO FOLIGNO - PONTELATRAVE**

**TRATTI:
FOLIGNO – VALMENOTRE
E
GALLERIA MUCCIA - PONTELATRAVE (Galleria Muccia inclusa)**

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE TECNICA GENERALE

I N D I C E

1.	IL TRACCIATO	3
	1.1. Descrizione del tracciato	3
	1.2. Geometria dell'asse	5
	1.2.1. Verifica delle caratteristiche planimetriche	7
	1.2.2. Verifica delle caratteristiche altimetriche	12
	1.2.3. Tabulati di verifica	14
2.	LA SEZIONE STRADALE	21
	2.1. L'asse principale	21
	2.2. Le strade minori	22
3.	CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE	23
4.	BARRIERE STRADALI E DISPOSITIVI DI SICUREZZA	29
	4.1. Premessa	29
	4.2. Tipologie	29
	4.3. Progetto delle barriere	30
5.	SEGNALETICA VERTICALE ED ORIZZONTALE	31
	5.1. Segnaletica orizzontale	32
	5.2. Segnaletica verticale	32
6.	LE OPERE IN TERRA	33
7.	BILANCIO TERRE E GESTIONE DEI MATERIALI	35
8.	IDROLOGIA E IDRAULICA	37
9.	OPERE D'ARTE	41
	9.1. Gallerie artificiali	42
	9.2. Gallerie naturali	43
	9.3. Viadotti	65
	9.4. Opere d'arte minori	70
	9.5. Prescrizioni per la durabilità dei calcestruzzi	71
10.	CANTIERIZZAZIONE	75
11.	IMPIANTI	76
	11.1. Riferimenti normativi e principi generali	76
	11.2. Scelte progettuali ed impianti previsti	77
	11.2.1. Impianti tecnici lungo la tratta	77
	11.2.2. Impianti di illuminazione in corrispondenza degli svincoli	77
	11.2.3. Impianti tecnici nelle gallerie	77
12.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	82
13.	ASPETTI GEOTECNICI	87
14.	SISMICITA'	88
15.	INTERVENTI DI INSERIMENTO E MITIGAZIONE AMBIENTALE	92

1. IL TRACCIATO

1.1. Descrizione del tracciato

Il presente progetto definitivo riguarda il tronco Foligno – Pontelatrave della S.S. 77 “Val di Chienti”. La suddivisione del tracciato in sublotto è così prevista (con riferimento alla carreggiata nord):

- Sublotto 1.2 (tratto Foligno - Valmenotre): da Km 0+000 a Km 7+619
- Sublotto 2.1 (tratto Valmenotre – Galleria Muccia): da Km 7+619 a Km 28+920
- Sublotto 1.2 (tratto Galleria Muccia - Pontelatrave): da Km 28+920 a Km 35+745

In particolare, il tratto umbro “Foligno – Valmenotre” del sublotto 1.2 in esame parte dall’esistente svincolo sulla S.S. 3 “Via Flaminia” nei pressi di Foligno e attraversa il territorio del comune di Foligno, percorrendo inizialmente la valle del fosso Renaro nei pressi di Uppello. Nella prima parte del tracciato, da Foligno alla galleria Collepersico, la nuova strada utilizza la sede dell’attuale S.S. 77. Il tracciato inizia quindi a salire a mezzacosta lungo il versante nord-occidentale del Monte Serrone, con un’alternanza di tratti in galleria e viadotto, attraversando alcune profonde incisioni di versante e raggiungendo in quota la valle del fiume Menotre nei pressi di Pale.

Il successivo tratto Valmenotre – Galleria Muccia (esclusa) costituisce, come sopra detto, il sublotto 2.1 dell’intervento.

Il tratto marchigiano, “Galleria Muccia – Pontelatrave”, del sublotto 1.2 attraversa il territorio dei comuni di Muccia e Pievebovigliana in provincia di Macerata. Oltrepassato in galleria il versante meridionale del Monte di Muccia, in sinistra del Chienti, attraversa due volte in viadotto il fiume Chienti e termina immediatamente dopo la galleria La Rocchetta, congiungendosi all’adiacente sublotto 1.1.

La strada in oggetto è prevista di categoria B “extraurbana principale” del DM 5/11/2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, avente sezione a carreggiate separate (ciascuna costituita da due corsie da 3.75 m, banchina esterna da 1.75 m e banchina interna da 0.50 m) con velocità di progetto compresa tra 70 e 120 km/h.

Il tratto iniziale del tracciato, per una lunghezza di circa 2 km, è l'adeguamento di un tratto di strada esistente, di cui i primi 400 m sono a 4 corsie ed i restanti attualmente a 2 sole corsie. A causa del condizionamento imposto dalla geometria del tracciato esistente, dalla vicinanza di alcuni edifici e dalla complessa situazione della viabilità laterale, tale adeguamento non si è potuto realizzare nel pieno rispetto dei criteri imposti dalla normativa. Nel tratto fino alla galleria artificiale Colpersico la nuova strada, prevista a doppia carreggiata, utilizza il sedime dell'attuale S.S. 77 per una delle carreggiate. Tale tratto iniziale è stato pertanto progettato con una velocità di progetto ridotta pari a 70 km/h, limite inferiore dell'intervallo di velocità per strade di tipo B, come già previsto nel Progetto Preliminare a base di gara.

Per tutto il successivo sviluppo, fino a termine intervento, il tracciato corre invece in variante rispetto alla strada esistente, che mantiene la sua piena funzionalità.

In fase di progettazione definitiva è stato verificato ed ottimizzato il tracciato di progetto dell'intero itinerario il cui sviluppo complessivo, da Foligno a Pontelatrive, è risultato pari a 35,745 km.

E' stato riesaminato con particolare attenzione l'aspetto degli allargamenti in curva richiesti dalle verifiche di visibilità, al fine di limitarli al massimo, soprattutto in corrispondenza delle gallerie. Per questo si è cercato di rimodellare tutte le curve di raggio inferiore a 2500 m in modo da evitare, per quanto possibile, tali allargamenti; esigenza particolarmente sentita per le gallerie da scavare con il metodo TBM.

Nel tratto finale del tracciato, in località Pontelatrive, il tracciato è stato modificato rispetto al progetto preliminare per consentire una corretta connessione al contiguo sublotto 1.1.

Per quanto riguarda l'inserimento nel territorio, si è predisposta la ricucitura della viabilità interferita dalla nuova infrastruttura; gli attraversamenti viari sono stati generalmente ripristinati con sottovia a struttura scatolare. Inoltre, si sono previsti i necessari attraversamenti idrici e le opere di raccolta delle acque meteoriche.

Lungo l'intero itinerario Foligno-Pontelatrive, come previsto nel progetto preliminare, sono presenti quattro svincoli - oltre a quello esistente sulla S.S. 3 Via Flaminia a Foligno da cui ha inizio l'intervento - e precisamente gli svincoli di Valmenotre, Colfiorito, Serravalle-Bavareto e Muccia. A seguito delle prescrizioni CIPE quest'ultimo svincolo è stato sdoppiato nei due semisvincoli di Muccia Sud e Muccia Nord.

Si prevede inoltre l'esecuzione dello svincolo provvisorio di Gelagna Bassa al km 28+920, come indicato nel Progetto Preliminare, elaborato n. 1521-14, Sez. C, Punto 15 del "Dossier

delle prescrizioni di adeguamento ed integrazione dei progetti disposte dal CIPE in sede di approvazione” e nell’elaborato grafico n. 509-V “Planimetria del tracciato selezionato (11/13)”. Tale svincolo ha lo scopo di rendere funzionale il tratto *marchigiano* del presente sublotto prima dell’esecuzione del sublotto 2.1 e si svolge essenzialmente sul sedime di quest’ultimo, utilizzandone in parte le opere. Per questo motivo, un breve tratto dell’asse principale - inclusa la galleria artificiale “Chienti” sulla carreggiata sud - pur appartenendo al sublotto 2.1, è stato incluso nei lavori dello svincolo provvisorio, partecipando così all’importo lavori del sublotto 1.2.

Analogamente, allo scopo di rendere funzionale il tratto *umbro* dello stesso sublotto, il Committente ha richiesto di estendere il sublotto 1.2 fino a comprendervi il viadotto Scopoli e le rampe dello svincolo Valmenotre, già inclusi nel sublotto 2.1. Il Contraente Generale ha dato seguito all’esplicita richiesta del Committente spostando pertanto il confine tra i due sublotti dal km 7+204 alle nuove Progressive 7+619, in asse Nord, e 7+613, in asse Sud.

Di conseguenza, gli svincoli presenti nel sublotto 1.2 sono i seguenti:

- Svincolo di Val Menotre (parziale), in prossimità del Km 7+500: in ottemperanza alle prescrizioni CIPE e in aderenza a quanto proposto in fase di gara, esso è stato modificato rispetto al progetto preliminare, limitandolo ai soli collegamenti da e per Foligno con la S.S. 77 esistente;
- Semi-svincolo di Muccia Sud, in prossimità del Km 33+100 in comune di Muccia, che collega la carreggiata Sud della nuova infrastruttura all’attuale S.S. 77 tramite una variante alla S.S. 77 stessa e una rotatoria di svincolo;
- Semi-svincolo di Muccia Nord, in prossimità del Km 34+900, che collega la carreggiata Nord all’attuale S.S. 77 tramite una rotatoria di svincolo.

1.2. Geometria dell’asse

La progettazione degli elementi geometrici dell’asse è stata eseguita in conformità alle “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade” di cui al DM 5/11/2001.

Il tracciamento ed il profilo sono stati eseguiti separatamente per le due carreggiate, sulla striscia continua della rispettiva banchina interna. I tabulati di tracciamento sono riportati negli specifici elaborati allegati al progetto.

In generale, i parametri geometrici degli elementi dell'asse stradale sono stati scelti in modo da rispettare i limiti dinamici imposti dalle norme e le condizioni ottiche necessarie ai fini della sicurezza e del comfort di guida.

I raggi degli archi circolari utilizzati nei raccordi planimetrici sono stati scelti nell'intervallo di valori forniti dall'abaco delle Norme sopra citate, che legano gli stessi raggi alle velocità di progetto ed alle pendenze trasversali da assegnare alla piattaforma stradale. I valori trovati sono stati verificati affinché soddisfino anche altre condizioni dinamiche, riassunte nei criteri di composizione planimetrica dell'asse, che evitano di posizionare vicini due raccordi incompatibili per caratteristiche geometriche.

Gli elementi a curvatura costante dell'asse stradale sono raccordati tra loro da elementi a curvatura variabile, allo scopo di ridurre il contraccolpo dovuto alla variazione di accelerazione trasversale. Gli elementi geometrici utilizzati a tale scopo sono le clotoidi. L'espressione parametrica di tali curve è del tipo: $rs = A^2$ (caso particolare di una famiglia di curve parametriche di espressione $rs^n = A^{(n+1)}$ dove: n = parametro di forma; A = parametro geometrico). Il loro dimensionamento avviene imponendo al parametro geometrico valori non inferiori a dati limiti, derivanti dal rispetto di vincoli dinamici e geometrici; ove possibile si è cercato di utilizzare raccordi più grandi di quelli minimi previsti dalla normativa.

Oltre a dimensionare correttamente ogni singolo raccordo planimetrico, affinché il tracciato risulti accettabile è necessario anche che le curve planimetriche ed altimetriche siano opportunamente posizionate sulla base dei criteri di coordinamento plano-altimetrico che evitano, in particolare, percezioni prospettiche distorte e perdita inattesa di visibilità. L'obiettivo è quello di conformare l'asse con elementi planimetrici ed altimetrici che rispondano bene, singolarmente e nel loro complesso, ai requisiti dinamici ed ottici necessari ad ottenere gli opportuni livelli di servizio.

Sono stati quindi svolti tre livelli di analisi del tracciato, con riferimento a:

- omogeneità fra elementi successivi e nell'insieme dell'itinerario (verifica attraverso diagrammi di velocità costruiti a partire da prefissate ipotesi sui singoli elementi di tracciato);
- assenza di difetti ottici (studio della visione prospettica del nastro stradale);
- leggibilità del tracciato e condizioni di anticipazione offerte all'utente.

Nella curva in destra di raggio 26000 m, di raccordo all'asse del contiguo subplotto 1.1, non sono stati inseriti raccordi di transizione, visto l'angolo di deviazione tra i rettifili particolarmente ridotto; la normativa indica come limite minimo per il quale è possibile conservare la sagoma limite in contropendenza il valore di raggio pari a 7500 m. Scompare quindi la limitazione del parametro A riguardante la sovrappendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata; essendo poi il raggio assunto sufficientemente elevato, tenendo conto che la velocità di progetto massima è di 120 Km/h, anche le rimanenti limitazioni di contraccolpo e guida "ottica" possono essere trascurate.

1.2.1. Verifica delle caratteristiche planimetriche

La verifica delle caratteristiche planimetriche è stata eseguita controllando le seguenti condizioni:

1. *Raggio minimo delle curve planimetriche.* Il valore del raggio minimo è stato calcolato facendo riferimento alla seguente espressione:

$$R_{\min} = \frac{(V_{p,\min})^2}{127 \cdot (f_t(V) + q_{\max})} \quad [1]$$

2. *Relazione raggio della curva (R)/lunghezza del rettifilo (L):*

$$\begin{array}{ll} \text{per } L < 300 \text{ m} & R \geq L \\ \text{per } L \geq 300 \text{ m} & R \geq 400 \text{ m} \end{array} \quad [2]$$

3. *Compatibilità tra i raggi di due curve successive.* La verifica è stata eseguita facendo riferimento all'abaco estratto dalla norma e riportato in Figura 1.1 per curve collegate da un rettifilo di lunghezza inferiore a 350 metri ($L < 350 \text{ m}$);

4. *Lunghezza massima dei rettifili:*

$$L_{\max} = 22 \cdot V \text{ (m)} \quad [3]$$

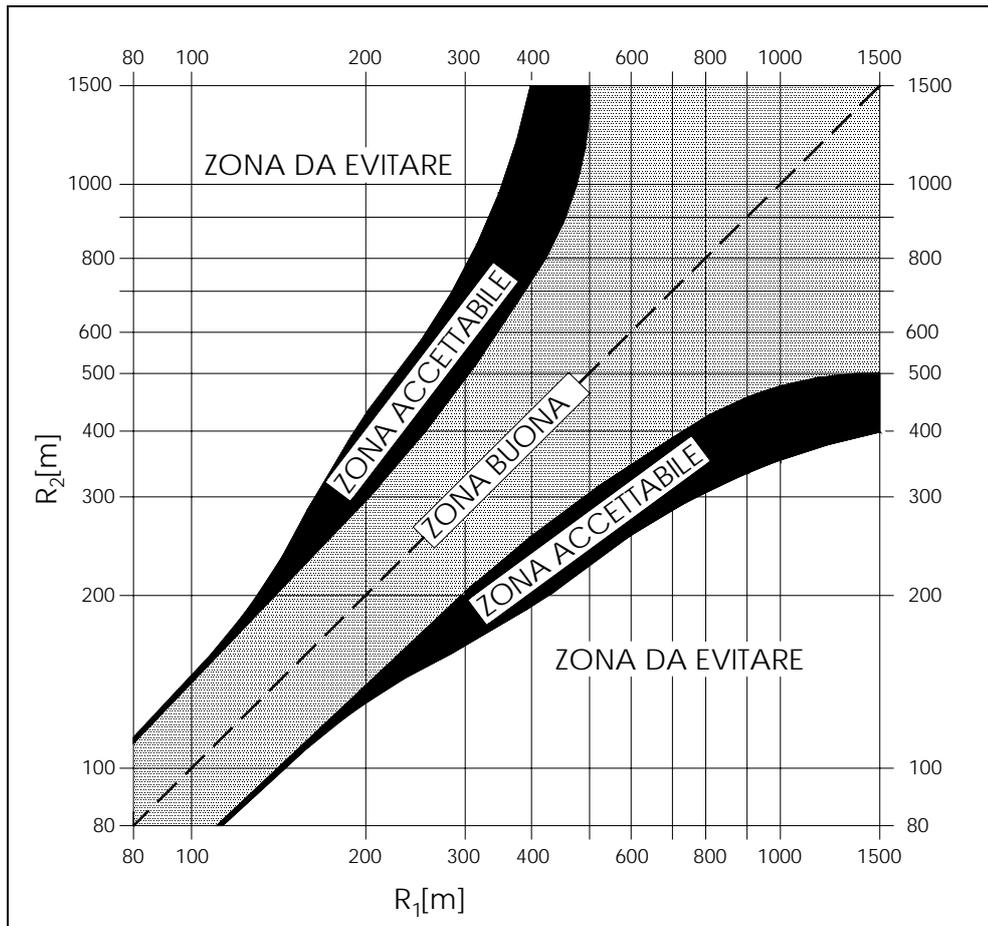


Figura 1.1 – Abaco di Koppel (DM 05/11/01)

5. *Lunghezza minima dei rettifili.* La verifica è stata eseguita facendo riferimento alla Tabella 1 estratta dalla norma e sotto riportata; per velocità la norma intende la massima desunta dal diagramma di velocità per il rettifilo considerato.

V_p [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
L_{min} [m]	30	40	50	65	90	115	150	190	250	300	360

Tabella 1 – Lunghezza minima dei rettifili in relazione alla velocità

6. *Congruenza del diagramma delle velocità.* La norma prevede che, per $V_{p,max} \geq 100$ km/h, nel passaggio da tratti caratterizzati dalla $V_{p,max}$ a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità di progetto non deve superare 10 km/h. Inoltre, fra due curve successive tale differenza, comunque mai superiore a 20 km/h, è consigliabile che non superi i 15 km/h.

7. *Lunghezza minima delle curve circolari.* La Norma prevede che una curva circolare, per essere percepita dagli utenti, deve essere percorsa per almeno 2,5 secondi e quindi deve avere uno sviluppo minimo pari a:

$$L_{c,\min} = 2,5 \cdot V_p \text{ (m/s)} \quad [4]$$

Verifica del parametro A degli elementi a curvatura variabile (clotoidi)

Criterio 1 (Limitazione del contraccolpo)

Affinché lungo un arco di clotoide si abbia una graduale variazione dell'accelerazione trasversale non compensata nel tempo (contraccolpo), fra il parametro A e la massima velocità V (km/h), desunta dal diagramma di velocità, per l'elemento di clotoide deve essere verificata la relazione:

$$A \geq 0,021 \times V^2 \quad [5]$$

Criterio 2 (Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata)

Nelle sezioni di estremità di un arco di clotoide la carreggiata stradale presenta differenti assetti trasversali, che vanno raccordati longitudinalmente introducendo una sovrappendenza nelle linee di estremità della carreggiata rispetto alla pendenza dell'asse di rotazione. Nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore infinito (rettilineo o punto di flesso), il parametro A deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i_{\max}} \times 100 \times B_i (q_i + q_f)} \quad [6]$$

dove:

B_i = distanza fra l'asse di rotazione ed il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della curva a raggio variabile;

Δi_{\max} (%) = sovrappendenza longitudinale massima della linea costituita dai punti che distano B_i dall'asse di rotazione; in assenza di allargamento tale linea coincide con l'estremità della carreggiata;

$$q_i = \frac{i_{ci}}{100}$$

dove i_{ci} = pendenza trasversale iniziale, in valore assoluto

$$qf = \frac{i_{cf}}{100}$$

con i_{cf} = pendenza trasversale finale, in valore assoluto

Critério 3 (Ottico)

Per garantire la percezione ottica del raccordo deve essere verificata la relazione:

$$A \geq R/3 \quad [7]$$

Verifiche di visibilità

Alle verifiche per la visibilità si è posta particolare attenzione, come detto in precedenza, al fine di limitare gli allargamenti di carreggiata in curva. Per il calcolo delle distanze di arresto sono stati inizialmente utilizzati coefficienti di aderenza longitudinale relativi alle "altre strade" (secondo DM 5/11/01), che forniscono distanze di arresto maggiori di quelle risultanti dall'adozione dei coefficienti di aderenza autostradali e, di conseguenza, maggiori allargamenti.

Tuttavia, in sede di istruttoria tecnica del progetto il Committente, considerate le caratteristiche adottate per lo strato di usura e in linea con l'opportunità indicata dal DM 5/11/01 per le strade extraurbane principali con "piani viabili di qualità", ha richiesto che il calcolo delle distanze di arresto sia effettuato utilizzando i coefficienti di aderenza "autostradali" relativi appunto a piani viabili di qualità, essendo onere del gestore il mantenimento nel tempo di tali caratteristiche. Come diretta conseguenza si ottiene una riduzione generale degli allargamenti per visibilità; in galleria, in particolare, la necessità di allargamento (peraltro molto contenuto) permane solo in corrispondenza della galleria Palude, appartenente al sublotto 2.1.

Preso atto della richiesta del Committente, contestuale al suo dichiarato impegno a mantenere nel tempo la caratteristica di qualità dei piani viabili, si è riprogettato il tracciato stradale utilizzando i coefficienti di aderenza autostradali. Gli allargamenti richiesti sono indicati nella tabella seguente. Le verifiche di visibilità sono riportate in appositi elaborati grafici del progetto.

Carreggiata Nord

R Curva	Prog In	Prog End	Pendenza Long. %	Distanza arresto	Velocità di progetto (Km/h)	Delta allargamento (m)	Allargamenti	
							Progr Iniz-Progr End	L allargamento
-1500	2066,60	2314,18	0,5	173.5	120	0		
2500	2758.73	5391.33	1.5	172	120	0		
-2500	6249.30	7877.50	2.8	169.5	120	0		
2500	29669.67	30960.87	-1.5	180.6	120	0		
-2500	31885.03	33383.08	-4.7	190	120	0		
2500	33940.86	34415.24	-3.5	186	120	0		
-1700	34883.24	34892.09	-1.3	180	120	0		

Carreggiata Sud

R Curva	Prog In	Prog End	Pendenza Long. %	Distanza arresto	Velocità di progetto (Km/h)	Delta allargamento (m)	Allargamenti	
							Progr Iniz-Progr End	L allargamento
1600	2084,88	2319,33	-4,2	188.6	120	0		
-2500	2776,11	5398,01	-4,2	188.6	120	0		
2500	6258.27	7886.40	-2.8	183.2	120	0		
-2520	29688.34	30991.00	1,48	172.5	120	0		
2500	31908.52	33412.40	2.5	169.3	120	0		
-2500	33968.84	34496.28	-0.75	177.7	120	0		
1500	34976.17	34999.50	1.3	172.6	120	0		

NB: i raggi della carreggiata sud sono elencati nel verso di percorrenza della carreggiata nord

1.2.2. Verifica delle caratteristiche altimetriche

Pendenze longitudinali massime

La pendenza massima delle livellette è quella consentita dal DM 05/11/01 per strade di tipo B (extraurbane principali), pari al 6% (4% in galleria).

Raccordi verticali convessi

In base a quanto indicato dalla norma il raggio minimo dei raccordi verticali convessi (dossi) viene determinato come segue.

1. Se D è inferiore allo sviluppo L del raccordo si ha:

$$R_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2})} \quad [8]$$

2. Se invece $D > L$:

$$R_v = \frac{2 \cdot 100}{\Delta i} \cdot \left[D - 100 \cdot \frac{h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2}}{\Delta i} \right] \quad [9]$$

ove:

R_v = raggio del raccordo verticale convesso [m]

D = distanza di visibilità da realizzare [m]

Δi = variazione di pendenza delle due livellette, espressa in percento

h_1 = altezza sul piano stradale dell'occhio del conducente [m]

h_2 = altezza dell'ostacolo [m]

Si pone di norma $h_1 = 1,10$ m. In caso di visibilità per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso, si pone $h_2 = 0,10$ m; in caso di visibilità per il cambiamento di corsia si pone $h_2 = 1,10$ m.

La distanza di visibilità per l’arresto è stata calcolata tramite il diagramma fornito dalla normativa. Nel calcolo delle distanze di visibilità è stato adottato un coefficiente di aderenza longitudinale “per autostrade”, come sopra detto.

La distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia è stata calcolata solo in corrispondenza di punti singolari (svincoli, deviazioni, ecc.), utilizzando la seguente equazione:

$$D_c = 2,6 \cdot V [km / h] \quad [10]$$

ove:

V = velocità del veicolo desunta puntualmente dal diagramma delle velocità.

Raccordi verticali concavi

In base a quanto indicato dalla norma il raggio minimo dei raccordi verticali concavi (sacche) viene determinato come segue.

1. Se D è inferiore allo sviluppo del raccordo si ha:

$$R_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h + D \sin \vartheta)} \quad [11]$$

2. Se invece $D > L$:

$$R_v = \frac{2 \cdot 100}{\Delta i} \cdot \left[D - \frac{100}{\Delta i} \cdot (h + D \sin \vartheta) \right] \quad [12]$$

ove:

R_v = raggio del raccordo verticale concavo [m]

D = distanza di visibilità per l’arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso [m]

Δi = variazione di pendenza delle due livellette, espressa in percento

h = altezza del centro dei fari del veicolo sul piano stradale

θ = massima divergenza verso l’alto del fascio luminoso rispetto l’asse del veicolo.

Si pone di norma: $h = 0,5$ m e $\theta = 1^\circ$.

1.2.3. Tabulati di verifica

Nelle pagine seguenti sono riportati i tabulati con i risultati delle verifiche planimetriche ed altimetriche sopra descritte, rispettivamente per gli assi sud e nord e per i due tratti “Foligno-Valmenotre” e “Galleria Muccia-Pontelatrave” che compongono il sublotto 1.2.

VERIFICHE PLANIMETRICHE ASSE SUD

L_r (max accettabile) (m)= 2640,00

$V_{min\ prog}$ =	70,00	km/h	$\Delta i_{min}(\%)$ =	0,93	$f_r(V_{min})$	0,1300	q_{max} = 0,0700
$V_{max\ prog}$ =	120,00	km/h			$f_r(V_{max})$	0,1000	
B_r =	9,25	m	senza allargamento				

Raggi min 192,91 m f(Vmin; qmax; fmax)
 Raggi max 666,98 m f(Vmax; qmax; fmax)

SubLotto 1.2 Tratto Foligno - Valmenotre

Dati geometrici del tracciato													VERIFICA CURVE E RETTIFILI					VERIFICA DEL PARAMETRO A DELLA CLOTOIDE									
Tipo Elemento	Progressiva Iniziale	Progressiva finale	Raggio	Velocità dal Diagramma delle velocità	Lunghezza Elemento	Parametro A clotoide	q_l	q_r	B_r	$\Delta i_{MAX} (\%)$	R_l	R_r	Verifica del raggio (1)	Sv. Minimo		L. Rettifilo		Raggio minimo tra raggi che si succedono con l'interposizione di un rettifilo	Verifica rettifilo tra due curve: R > LR per LR < 300 m R ≥ 400 m per LR ≥ 300 m Verificato?	CRITERIO 1		CRITERIO 2		CRITERIO 3			
														Sviluppo minimo di una curva (L ≥ 2,5*V _{prog})	Verificato	Lr Minima	Verifica di percezione di un rettifilo			Limitazione contraccollo Parametro A clotoide	Verificato	Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata se il raggio iniziale è infinito. A _{min}	Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata se il raggio iniziale è finito (verif che R>Ri) (clot. Continuità) A _{min}	Ottico (R/3<A<R) in continuità si considera (R(iniziale)/3<A<R)	Verificato		
Clotoide	0,00	24,05		70,00	30,82	43														102,90	NO (1)			SI	20	SI	
Rettifilo	24,05	249,64		70,00	225,59											102,5	SI		SI								
Clotoide	249,64	317,24		70,00	67,60	130	-0,025	0,070	9,250	2,379	i	250								102,90	SI		66,144		SI	83,333	SI
Circonferenza	317,24	323,64	250	70,00	6,41								73	48,61	NO (2)												
Clotoide	323,64	391,24		70,00	67,60	130	0,070	-0,025	9,250	2,379	250	i								102,90	SI		66,144		SI	83,333	SI
Rettifilo	391,24	462,05		70,00	70,80											122,2	NO (2)	205,00	SI								
Clotoide	462,05	538,27		70,00	76,22	125	-0,025	-0,070	9,456	2,432	i	-205								102,90	SI		87,026		SI	68,333	SI
Circonferenza	538,27	694,47	-205	70,00	156,21								67	48,61	SI												
Clotoide	694,47	770,69		70,00	76,22	125	-0,070	-0,025	9,456	2,432	-205	i								102,90	SI		87,026		SI	68,333	SI
Rettifilo	770,69	862,12		70,00	91,43											129,8	NO (2)	205,00	SI								
Clotoide	862,12	932,12		70,00	70,00	140	-0,025	0,070	9,250	2,379	i	280								102,90	SI		70,000		SI	93,333	SI
Circonferenza	932,12	935,27	280	70,00	3,15								78	48,61	NO (2)												
Clotoide	935,27	1005,27		70,00	70,00	140	0,070	-0,025	9,250	2,379	280	i								102,90	SI		70,000		SI	93,333	SI
Rettifilo	1005,27	1039,27		70,00	34,00											133,3	NO (2)	280,00	SI								
Clotoide	1039,27	1171,82		70,00	132,55	260	-0,025	-0,070	9,250	2,379	i	-510								102,90	SI		137,265		SI	170	SI
Circonferenza	1171,82	1276,31	-510	70,00	104,49								105	48,61	SI												
Clotoide	1276,31	1408,86		70,00	132,55	260	-0,070	-0,025	9,250	2,379	-510	i								102,90	SI		137,265		SI	170	SI
Rettifilo	1408,86	1437,64		70,00	28,78											190	SI	510,00	SI								
Clotoide	1437,64	1493,98		70,00	56,34	235	-0,025	0,067	9,250	2,379	i	710								102,90	SI		107,816		SI	234,667	SI
Circonferenza	1493,98	1828,21	710	70,00	334,23								SI	48,61	SI												
Clotoide	1828,21	1905,99		70,00	77,78	235	0,067	0,000	9,250	2,379	710	i								102,90	SI		136,114		SI	234,667	SI
Clotoide	1905,99	2084,88		120,00	178,89	535	0,000	-0,040	9,330	1,400	i	-1600								302,40	SI		206,559		SI	533,333	SI
Circonferenza	2084,88	2319,33	-1600	120,00	234,45								SI	83,33	SI												
Clotoide	2319,33	2498,22		120,00	178,89	535	-0,040	0,000	9,330	1,400	-1600	i								302,40	SI		206,559		SI	533,333	SI
Clotoide	2498,22	2776,11		120,00	277,89	833,5	0,000	0,030	9,250	1,388	i	2500								302,40	SI		223,607		SI	833,333	SI
Circonferenza	2776,11	5398,01	2500	120,00	2621,90								SI	83,33	SI												
Clotoide	5398,01	5675,90		120,00	277,89	833,5	0,030	-0,025	9,250	1,388	2500	i								302,40	SI		91,287		SI	833,333	SI
Rettifilo	5675,90	5979,38		120,00	303,49											190	SI	2500,00	SI								
Clotoide	5979,38	6258,27		120,00	278,89	835	-0,025	-0,030	9,250	1,388	i	-2500								302,40	SI		302,765		SI	833,333	SI
Circonferenza	6258,27	7886,40	-2500	120,00	1628,13								SI	83,33	SI												
Clotoide	7886,40	8165,29		120,00	278,89	835	-0,030	-0,025	9,250	1,388	-2500	i								302,40	SI		302,765		SI	833,333	SI

ZONA IN ADEGUAMENTO Le caratteristiche geometriche impongono il limite di velocità a 70 Km/h per garantire il rispetto della normativa

VERIFICHE PLANIMETRICHE ASSE SUD

L_i(max accettabile) (m)=

2640.00

V _{min} prog. =	70.00	km/h	Δi _{min} (%) =	0.93	f _i (Vmin)	0.1300
V _{max} prog. =	120.00	km/h			f _i (Vmax)	0.1000
B _i =	9.25	m	senza allargamento			

q_{max} = 0.0700

Raggi min 192.91 m f(Vmin; qmax; fmax)
 Raggi max 666.98 m f(Vmax; qmax; fmax)

SubLotto 1.2 Tratto Muccia - Pontelatrive

Dati geometrici del tracciato													VERIFICA CURVE E RETTIFILI					VERIFICA DEL PARAMETRO A DELLA CLOTOIDE							
Tipo Elemento	Progressiva Iniziale	Progressiva finale	Raggio	Velocità dal Diagramma delle velocità	Lunghezza Elemento	Parametro A clotoide	q _i	q _r	B _i	Δi _{max} (%)	R _i	R _r	Verifica del raggio (r)	Sv. Minimo		L. Rettifilo		CRITERIO 1		CRITERIO 2		CRITERIO 3			
														Sviluppo minimo di una curva (L ≥ 2,5*V _{prog})	Verificato	L _r Minima	Verifica di percezione di un rettifilo	Raggio minimo tra raggi che si succedono con l'interposizione di un rettifilo	Verifica rettifilo tra due curve: R > LR per LR < 300 m R ≥ 400 m per LR ≥ 300 m Verificato?	Limitazione contraccolpo Parametro A clotoide	Verificato	Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata se il raggio iniziale è infinito. A _{min}	Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata se il raggio iniziale è finito (verif che R _r >R _i) (clot. Continuità) A _{min}	Verificato	Ottico (R/3<A<R) in continuità si considera (R(iniziale)/3<A<R)
Clotoide	29408.34	29688.34		120.00	280.00	840	-0.025	0.030	9.250	1.388	i	2520						302.40	SI	89.800		SI	840	SI	
Circonferenza	29688.34	30991.00	2520	120.00	1302.66								SI	83.33	SI										
Clotoide	30991.00	31271.00		120.00	280.00	840	0.030	-0.025	9.250	1.388	2520	i						302.40	SI	89.800		SI	840	SI	
Rettifilo	31271.00	31629.63		120.00	358.63											190	SI	2500.00	SI						
Clotoide	31629.63	31908.52		120.00	278.89	835	-0.025	-0.030	9.250	1.388	i	-2500						302.40	SI	302.765		SI	833.333	SI	
Circonferenza	31908.52	33412.40	-2500	120.00	1503.88								SI	83.33	SI										
Clotoide	33412.40	33690.62		120.00	278.22	834	-0.030	0.000	9.250	1.388	-2500	i						302.40	SI	223.607		SI	833.333	SI	
Clotoide	33690.62	33968.84		120.00	278.22	834	0.000	0.030	9.250	1.388	i	2500						302.40	SI	223.607		SI	833.333	SI	
Circonferenza	33968.84	34496.28	2500	120.00	527.43								SI	83.33	SI										
Clotoide	34496.28	34774.50		120.00	278.22	834	0.030	0.000	9.250	1.388	2500	i						302.40	SI	223.607		SI	833.333	SI	
Clotoide	34774.50	34976.17		120.00	201.67	550	0.000	-0.042	9.250	1.388	i	-1500						302.40	SI	203.961		SI	500	SI	
Clotoide	34999.50	35166.16		120.00	166.67	500	-0.042	-0.025	9.250	1.388	-1500	i						302.40	SI	258.070		SI	500	SI	
Rettifilo	35166.16	35187.37		120.00	21.20											190	NO	SI							

VERIFICHE ALTIMETRICHE ASSE SUD

Velocità massima di progetto = 120 Km/h

h = 0.5 m (altezza del centro dei fari del veicolo sul piano stradale)
 h1 = 1.1 m (altezza sul piano stradale dell'occhio del conducente)
 h2 = 0.1 m (altezza dell'ostacolo fisso altrimenti in caso di visibilità per il sorpasso si pone h2 = 1,10 m)
 sen (1°) = 0.0174524

SubLotto 1.2 Tratto Foligno - Valmenotre

Tipo curva altimetrica	i _{in} (%)	i _{ri} (%)	i media	R _v	Progressiva Iniziale	Progressiva finale	Velocità massima (Km/h)	Δi/100	Distanza di Arresto	Sviluppo del raccordo	Criterio Ottico		Criterio Dinamico		Raggi minimi : Dossi Rv > 20 m Sacche Rv > 40 m
											R _v Minimo	Ver.	a _v	Ver.	
Convesso	5.38	2.08	3.73	350	0	0.83	46.18	3.3	47.378	11.55	28.37	SI	0.471	SI	SI
Concavo	2.08	6.4	4.24	800	3.97	16.93	48.7	4.32	50.5615	34.56	23.26	SI	0.229	SI	SI
Convesso	6.4	3.85	5.125	5000	88.285	126.523	65.79	2.55	76.3157	127.50	1562.82	SI	0.067	SI	SI
Concavo	3.85	5.16	4.505	1000	128.464	154.527	70.16	1.31	84.6403	13.10	126.92	SI	0.380	SI	SI
Convesso	5.16	4.65	4.905	600	217.964	293.666	87.94	0.51	120.359	3.06	457.67	SI	0.996	NO	SI
Concavo	4.65	5.78	5.215	800	446.152	558.618	87.37	1.13	118.47	9.04	205.66	SI	0.737	NO	SI
Convesso	5.78	4.65	5.215	1000	567.223	589.742	76	1.13	94.941	11.30	165.12	SI	0.446	SI	SI
Convesso	4.65	2.74	3.695	20000	712.746	731.844	80.55	1.91	106.133	382.00	3022.63	SI	0.025	SI	SI
Concavo	2.74	4.46	3.6	8000	744.065	778.432	86.23	1.72	118.855	137.60	2743.75	SI	0.072	SI	SI
Convesso	4.46	4.02	4.24	8000	832.35	854.4	94.23	0.44	136.677	35.20	602.01	SI	0.086	SI	SI
Convesso	4.02	0.5	2.26	3000	1383.976	1735.883	120	3.52	221.488	105.60	125.54	SI	0.371	SI	SI
Concavo	0.5	4.2	2.35	3000	1913.048	2283.048	120	3.7	170	111.00	7899.00	SI	0.371	SI	SI
Convesso	4.2	2.2	3.2	20000	2693.679	2993.679	120	2	168	400.00	7573.56	SI	0.056	SI	SI
Concavo	2.2	3.8	3	10000	3902.944	4303.008	120	1.6	168.5	160.00	207.94	SI	0.111	SI	SI
Convesso	3.8	2.8	3.3	40000	6354.243	6739.263	120	1	167.8	385.75	7555.54	SI	0.028	SI	SI
Concavo	2.8	4	3.4	30000	7206.493	7555.187	120	1.2	167.55	348.70	4097.27	SI	0.037	SI	SI

ZONA IN ADEGUAMENTO
 Le caratteristiche geometriche non verificano (vedere diagrama con limite di velocità a 70 Km/h)

SubLotto 1.2 Tratto Muccia - Pontelatrive

Tipo curva altimetrica	i _{in} (%)	i _{ri} (%)	i media	R _v	Progressiva Iniziale	Progressiva finale	Velocità massima (Km/h)	Δi/100	Distanza di Arresto	Sviluppo del raccordo	Criterio Ottico		Criterio Dinamico		Raggi minimi : Dossi Rv > 20 m Sacche Rv > 40 m
											R _v Minimo	Ver.	a _v	Ver.	
Convesso	-1.48	-2.5	-1.99	40000	30532.27	31040.582	120	1.02	181.4	408.00	8829.80	SI	0.028	SI	SI
Convesso	-2.5	-3.6	-3.05	50000	31951.056	32226.056	120	1.1	184.36	550.00	9120.42	SI	0.022	SI	SI
Convesso	-3.6	-4.7	-4.15	50000	32650.432	32870.432	120	1.1	187.56	550.00	9439.78	SI	0.022	SI	SI
Concavo	-4.7	0.75	-1.975	25000	33006.741	33551.741	120	5.45	181.33	1362.50	4486.19	SI	0.045	SI	SI
Convesso	0.75	-3.49	-1.37	20000	33726.491	34574.611	120	4.24	179.66	848.00	8661.32	SI	0.056	SI	SI
Concavo	-3.49	-1.49	-2.49	10000	34780.066	34980.121	120	2	182.77	200.00	4526.88	SI	0.111	SI	SI

VERIFICHE PLANIMETRICHE ASSE NORD

L_r(max accettabile) (m)=

2640.00

Vmin _{prog.} =	70.00	km/h	Δi _{min} (%) =	0.93	f _i (Vmin)	0.1300
Vmax _{prog.} =	120.00	km/h			f _i (Vmax)	0.1000
B _i =	9.25	m	senza allargamento			

q_{max} = 0.0700

Raggi min 192.91 m f(Vmin; qmax; fmax)
 Raggi max 666.98 m f(Vmax; qmax; fmax)

SubLotto 1.2 Tratto Foligno - Valmenotre

Dati geometrici del tracciato													VERIFICA CURVE E RETTIFILI					VERIFICA DEL PARAMETRO A DELLA CLOTOIDE									
Tipo Elemento	Progressiva Iniziale	Progressiva finale	Raggio	Velocità dal Diagramma delle velocità	Lunghezza Elemento	Parametro A clotoide	q _i	q _r	B _i	Δi _{max} (%)	R _i	R _r	Verifica del raggio (1)	Sv. Minimo		L. Rettifilo		Raggio minimo tra raggi che si succedono con l'interposizione di un rettifilo	Verifica rettifilo tra due curve: R > LR per LR < 300 m R ≥ 400 m per LR ≥ 300 m Verificato?	CRITERIO 1		CRITERIO 2		CRITERIO 3			
														Sviluppo minimo di una curva (L ≥ 2,5*V _{prog})	Verificato	L _r Minima	Verifica di percezione di un rettifilo			Limitazione contraccollo Parametro A clotoide	Verificato	Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata se il raggio iniziale è infinito. A _{min}	Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata se il raggio iniziale è finito (verif che Rf>Ri) (clot. Continuità) A _{min}	Verificato	Ottico (R/3<A<R) in continuità si considera (R(iniziale)/3<A<R)	Verificato	
Clotoide	0.000	19.147		70.00	19.15	63.00	-0.070	-0.025	9.250	2.379	92	i								102.90	NO ₍₁₎	58.300		SI	30.667	SI	
Rettifilo	19.147	263.916		70.00	244.77											129.00	SI		SI								
Clotoide	263.916	301.728		70.00	37.81	110.00	-0.025	-0.070	9.250	2.379	i	320								102.90	SI	108.730		SI	106.667	SI	
Circonferenza	301.728	359.103	320.00	70.00	57.37								83	48.61	SI												
Clotoide	359.103	396.916		70.00	37.81	110.00	-0.070	-0.025	9.250	2.379	320	i								102.90	SI	108.730		SI	106.667	SI	
Rettifilo	396.916	461.539		70.00	64.62											124.00	NO ₍₂₎	206.00	SI								
Clotoide	461.539	539.664		70.00	78.13	125.00	-0.025	0.070	9.250	2.379	i	-206								102.90	SI	60.042		SI	66.667	SI	
Circonferenza	539.664	691.430	-206.00	70.00	151.77								67	48.61	SI												
Clotoide	691.430	769.555		70.00	78.13	125.00	0.070	-0.025	9.250	2.379	-206	i								102.90	SI	60.042		SI	66.667	SI	
Rettifilo	769.555	870.636		70.00	101.08											138.00	NO ₍₂₎	206.00	SI								
Clotoide	870.636	911.779		70.00	41.14	120.00	-0.025	-0.070	9.250	2.379	i	350								102.90	SI	113.713		SI	116.667	SI	
Circonferenza	911.779	963.472	350.00	70.00	51.69								87	48.61	SI												
Clotoide	963.472	1004.615		70.00	41.14	120.00	-0.070	-0.025	9.250	2.379	350	i								102.90	SI	113.713		SI	116.667	SI	
Rettifilo	1004.615	1055.166		70.00	50.55											155.00	NO ₍₂₎	350.00	SI								
Clotoide	1055.166	1169.499		70.00	114.33	245.00	-0.025	0.070	9.250	2.379	i	-525								102.90	SI	95.851		SI	175	SI	
Circonferenza	1169.499	1305.680	-525.00	70.00	136.18								106	48.61	SI												
Clotoide	1305.680	1420.013		70.00	114.33	245.00	0.070	-0.025	9.250	2.379	-525	i								102.90	SI	95.851		SI	175	SI	
Rettifilo	1420.013	1442.230		70.00	22.22											250.00	SI	525.00	SI								
Clotoide	1442.230	1456.516		70.00	14.29	105.00	0.025	-0.065	9.250	2.379	i	700								102.90	SI	104.350		SI	66.667	SI	
Circonferenza	1456.516	1821.043	700.00	70.00	364.53								SI	48.61	SI												
Clotoide	1821.043	1899.936		70.00	78.89	235.00	-0.068	0.000	9.250	2.379	700	i								102.90	SI	136.056		SI	233.333	SI	
Clotoide	1899.94	2066.60		120.00	166.67	500.00	0.000	0.042	9.250	1.388	i	-1500								302.40	SI	204.939		SI	500	SI	
Circonferenza	2066.60	2314.18	-1500.00	120.00	247.57								SI	83.33	SI												
Clotoide	2314.18	2480.84		120.00	166.67	500.00	0.042	0.000	9.345	1.402	-1500	i								302.40	SI	204.939		SI	500	SI	
Clotoide	2480.84	2758.73		120.00	277.89	833.50	0.000	-0.030	9.345	1.402	i	2500								302.40	SI	223.607		SI	833.333	SI	
Circonferenza	2758.73	5391.33	2500.00	120.00	2632.59								SI	83.33	SI												
Clotoide	5391.33	5669.22		120.00	277.89	833.50	-0.030	-0.025	9.250	1.388	2500	i								302.40	SI	302.765		SI	833.333	SI	
Rettifilo	5669.22	5970.41		120.00	301.19											250.00	SI	2500.00	SI								
Clotoide	5970.41	6249.30		120.00	278.89	835.00	-0.025	0.030	9.250	1.388	i	-2500								302.40	SI	91.287		SI	833.333	SI	
Circonferenza	6249.30	7877.50	-2500.00	120.00	1628.20								SI	83.33	SI												
Clotoide	7877.50	8156.39		120.00	278.89	835.00	0.030	-0.025	9.250	1.388	-2500	i								302.40	SI	91.287		SI	833.333	SI	

ZONA IN ADEGUAMENTO Le caratteristiche geometriche impongono il limite di velocità a 70 Km/h per garantire il rispetto della normativa.

VERIFICHE PLANIMETRICHE ASSE NORD

L_r(max accettabile) (m)= 2640.00

V _{min} _{prog.} =	70.00	km/h	Δ i _{min} (%) =	0.93	f _i (Vmin)	0.1300	q _{max} = 0.0700
V _{max} _{prog.} =	120.00	km/h			f _i (Vmax)	0.1000	
B _i =	9.25	m	senza allargamento				

Raggi min 192.91 m f(Vmin; qmax; fmax)
 Raggi max 666.98 m f(Vmax; qmax; fmax)

SubLotto 1.2 Tratto Muccia - Pontelatrave

Dati geometrici del tracciato													VERIFICA CURVE E RETTIFILI						VERIFICA DEL PARAMETRO A DELLA CLOTOIDE						
Tipo Elemento	Progressiva Iniziale	Progressiva finale	Raggio	Velocità dal Diagramma delle velocità	Lunghezza Elemento	Parametro A clotoide	q _i	q _r	B _i	Δ _{imax} (%)	R _i	R _r	Verifica del raggio (1)	Sv. Minimo		L. Rettifilo		CRITERIO 1		CRITERIO 2		CRITERIO 3			
														Sviluppo minimo di una curva (L ≥ 2,5*V _{prog})	Verificato	L _r Minima	Verifica di percezione di un rettifilo	Raggio minimo tra raggi che si succedono con l'interposizione di un rettifilo	Verifica rettifilo tra due curve: R > LR per LR < 300 m R ≥ 400 m per LR ≥ 300 m Verificato?	Limitazione contraccolpo Parametro A clotoide	Verificato	Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata se il raggio iniziale è infinito. A _{min}	Verificato	Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata se il raggio iniziale è finito (verif che Rf>Ri) (clot. Continuità) A _{min}	Verificato
Clotoide	29390.78	29669.67		120.00	278.89	835.00	-0.025	-0.030	9.250	1.388	i	2500						302.40	SI	302.765		SI	833.333	SI	
Circonferenza	29669.67	30960.87	2500.00	120.00	1291.21								SI	83.33	SI										
Clotoide	30960.87	31239.76		120.00	278.89	835.00	-0.030	-0.025	9.250	1.388	2500	i						302.40	SI	302.765		SI	833.333	SI	
Rettifilo	31239.76	31606.14		120.00	366.37											250.00	SI	2500.00	SI						
Clotoide	31606.14	31885.03		120.00	278.89	835.00	-0.025	0.030	9.250	1.388	i	-2500						302.40	SI	91.287		SI	833.333	SI	
Circonferenza	31885.03	33383.08	-2500.00	120.00	1498.05								SI	83.33	SI										
Clotoide	33383.08	33661.97		120.00	278.89	835.00	0.030	0.000	9.250	1.388	-2500	i						302.40	SI	223.607		SI	833.333	SI	
Clotoide	33661.97	33940.86		120.00	278.89	835.00	0.000	-0.030	9.250	1.388	i	2500						302.40	SI	223.607		SI	833.333	SI	
Circonferenza	33940.86	34415.24	2500.00	120.00	474.38								SI	83.33	SI										
Clotoide	34415.24	34694.13		120.00	278.89	835.00	-0.030	0.000	9.250	1.388	2500	i						302.40	SI	223.607		SI	833.333	SI	
Clotoide	34694.13	34883.24		120.00	189.11	567.00	0.000	0.038	9.250	1.388	i	-1700						302.40	SI	207.525		SI	566.667	SI	
Clotoide	34892.09	35081.20		120.00	189.11	567.00	0.038	-0.025	9.250	1.388	-1700	i						302.40	SI	121.381		SI	566.667	SI	
Rettifilo	35081.20	35135.03		120.00	53.84											250.00	NO ₍₁₎		SI						

VERIFICHE ALTIMETRICHE ASSE NORD

Velocità massima di progetto = 120 Km/h

h = 0.5 m (altezza del centro dei fari del veicolo sul piano stradale)
 h1 = 1.1 m (altezza sul piano stradale dell'occhio del conducente)
 h2 = 0.1 m (altezza dell'ostacolo fisso altrimenti in caso di visibilità per il sorpasso si pone h2 = 1,10 m)
 sen (1°) = 0.0174524

SubLotto 1.2 Tratto Foligno - Valmenotre

Tipo curva altimetrica	i _{in} (%)	i _{ri} (%)	i media	R _v	Progressiva Iniziale	Progressiva finale	Velocità massima (Km/h)	Δi/100	Distanza di Arresto	Sviluppo del raccordo	Criterio Ottico		Criterio Dinamico		Raggi minimi : Dossi Rv > 20 m Sacche Rv > 40 m
											R _v Minimo	Ver.	a _v	Ver.	
Convesso	9.4	3.43	6.415	350	0	0.315	58.38	5.97	63.4824	20.90	21.16	SI	0.753	NO	SI
Concavo	3.43	6.07	4.75	800	6.045	27.201	62.12	2.64	70.5406	21.12	52.94	SI	0.373	SI	SI
Convesso	6.07	5.14	5.605	5000	91.088	137.481	77.46	0.93	97.2115	46.50	204.75	SI	0.093	SI	SI
Convesso	5.14	2.66	3.9	1000	222.423	247.266	92.73	2.48	133.714	24.80	107.23	SI	0.665	NO	SI
Concavo	2.66	4.01	3.335	600	251.586	259.663	94.07	1.35	138.276	8.10	201.66	SI	1.140	NO	SI
Concavo	4.01	6.61	5.31	800	297.349	318.202	89.5	2.6	123.246	20.80	94.02	SI	0.774	NO	SI
Convesso	6.61	5.19	5.9	1000	320.932	335.126	89	1.42	121.043	14.20	168.63	SI	0.612	NO	SI
Convesso	5.19	4.73	4.96	20000	372.064	464.59	92.98	0.46	131.936	92.00	556.02	SI	0.033	SI	SI
Concavo	4.73	5.35	5.04	8000	469.653	519.489	83.64	0.62	110.67	49.60	344.35	SI	0.068	SI	SI
Convesso	5.35	4.49	4.92	8000	543.945	612.94	75	0.86	93.2031	68.80	211.71	SI	0.054	SI	SI
Convesso	4.49	2.96	3.725	3000	702.59	748.604	81.91	1.53	109.072	45.90	140.99	SI	0.173	SI	SI
Concavo	2.96	4.35	3.655	3000	748.604	790.445	86.97	1.39	120.374	41.70	170.51	SI	0.195	SI	SI
Convesso	4.35	3.99	4.17	20000	848.353	920.585	96.59	0.36	142.684	72.00	763.93	SI	0.036	SI	SI
Convesso	3.99	0.5	2.245	10000	1497.085	1846.076	120	3.49	221.566	349.00	9989.45	SI	0.111	SI	SI
Concavo	0.5	4.5	2.5	9000	1997.571	2357.571	120	4	169.7	360.00	4159.56	SI	0.124	SI	SI
Convesso	4.5	1.5	3	20000	2758.326	3358.326	120	3	168.5	600.00	7618.71	SI	0.056	SI	SI
Concavo	1.5	3.8	2.65	20000	3875.705	4335.705	120	2.3	169.34	460.00	4149.47	SI	0.056	SI	SI
Convesso	3.8	2.8	3.3	40000	6385.028	6780.333	120	1	167.8	394.00	7555.54	SI	0.028	SI	SI
Concavo	2.8	4	3.4	30000	7204.65	7557.583	120	1.2	167.55	352.00	4099.27	SI	0.037	SI	SI

ZONA IN ADEGUAMENTO
Le caratteristiche geometriche non verificano (vedere diagrama con limite di velocità a 70 Km/h)

SubLotto 1.2 Tratto Muccia - Pontelatrate

Tipo curva altimetrica	i _{in} (%)	i _{ri} (%)	i media	R _v	Progressiva Iniziale	Progressiva finale	Velocità massima (Km/h)	Δi/100	Distanza di Arresto	Sviluppo del raccordo	Criterio Ottico		Criterio Dinamico		Raggi minimi : Dossi Rv > 20 m Sacche Rv > 40 m
											R _v Minimo	Ver.	a _v	Ver.	
Convesso	-1.5	-2.5	-2	50000	30512.136	31012.136	120	1	181.4	500.00	8829.90	SI	0.022	SI	SI
Convesso	-2.5	-3.6	-3.05	25000	31941.446	32216.446	120	1.1	184.5	275.00	9134.28	SI	0.045	SI	SI
Convesso	-3.6	-4.7	-4.15	20000	32641.246	32861.246	120	1.1	187.65	220.00	9448.84	SI	0.056	SI	SI
Concavo	-4.7	0.75	-1.975	10000	32986.661	33531.661	120	5.45	181.4	545.00	4488.16	SI	0.111	SI	SI
Convesso	0.75	-3.5	-1.375	20000	33705.598	34555.598	120	4.25	179.5	850.00	8645.90	SI	0.056	SI	SI
Concavo	-3.5	-1.48	-2.49	10000	34756.58	34958.411	120	2.02	182.8	202.00	4527.53	SI	0.111	SI	SI

- La verifica dell'elemento geometrico risulta negativa solo in quanto nei calcoli è stata considerata la sola parte appartenente al subplotto 1.2, oggetto di questa relazione; l'elemento geometrico, in realtà, continua nel subplotto adiacente e nella sua interezza verifica la normativa.
- Relativo alla zona in adeguamento

2. LA SEZIONE STRADALE

2.1. L'asse principale

La strada in progetto è di categoria B (extraurbana principale) di cui al DM 5/11/2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”. In particolare, la sezione stradale è composta di due carreggiate separate, ciascuna a due corsie da 3,75 m fiancheggiate da una banchina in destra di larghezza 1,75 m ed una banchina in sinistra da 0,50 m, per una larghezza complessiva di carreggiata pari a 9,75 m.

In generale le due carreggiate, data la successione di gallerie naturali a breve distanza l'una dall'altra, corrono adeguatamente distanziate (19,5 m), avvicinandosi solo in alcuni casi (per esempio in presenza di gallerie artificiali, di tratti in rilevato o di svincoli, oltre che nel tratto iniziale del tracciato) sino ad una distanza di 5 m; in tal caso si crea un vero e proprio spartitraffico tra le carreggiate.

Nello spartitraffico, in particolare prima e dopo le gallerie, sono previsti i varchi per consentire lo scambio di carreggiata, ai fini della sicurezza e della manutenzione.

Nei tratti in sede naturale gli elementi marginali sono costituiti, in rilevato, da un arginello da 1.25 m e in trincea da una cunetta alla francese da 0.9 m. Nei tratti in galleria come elementi marginali sono previste barriere ridirettive tipo new jersey, a ridosso delle quali sono alloggiati i cavidotti per gli impianti.

Per le rampe di svincolo bidirezionali è prevista una piattaforma di larghezza 9,50 m, costituita da due corsie da 3,75 m e da due banchine laterali da 1,00 m, delimitate da arginello o da cunetta alla francese, rispettivamente in rilevato e in scavo. Le rampe di svincolo monodirezionali hanno larghezza di 6,50 m, essendo costituite da una corsia di marcia di 4,00 m e da due banchine laterali, larghe rispettivamente 1.0 m e 1.5 m, sempre delimitate da arginello o cunetta.

In rettilineo la sezione stradale è sagomata a doppia falda, con pendenza trasversale del 2,5% per agevolare lo smaltimento delle acque meteoriche. In curva la pendenza trasversale, dipen-

dente dalla velocità di progetto, è stata ricavata utilizzando l'abaco di normativa. Il passaggio graduale da una pendenza ad un'altra avviene lungo le curve di raccordo; la rotazione della sagoma avverrà facendo ruotare le falde attorno alla linea continua di banchina interna.

Lungo il tracciato e su entrambe le carreggiate sono previste piazzole di sosta, poste ad intervalli non superiori a 1000 m ed ubicate all'esterno della banchina.

Per le scarpate dei rilevati è prevista una pendenza 2/3, con eventuale banca intermedia dopo 5 m di altezza dall'arginello in caso di altezze superiori a 6 m.

Per le scarpate in scavo sono previste diverse pendenze in funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati: in caso di terreni rocciosi, dopo un tratto orizzontale di larghezza 1.65 m contenente la cunetta di raccolta delle acque meteoriche, la scarpata viene modellata con inclinazione 6/1, con banchettoni ogni 5 m di altezza; in caso di terreni detritici o alluvionali, dopo il tratto da 1.65 m contenente la cunetta, la scarpata viene scavata con pendenza 1/4.

Nei casi in cui è necessario contenere l'ingombro delle scarpate si è previsto, in generale, l'utilizzo di muri in terra verde, per le scarpate in rilevato, e di muri di controripa in gabbioni o prefabbricati in c.a. per le scarpate in scavo. In talune circostanze, specialmente agli imbocchi delle gallerie, è stata prevista l'esecuzione di paratie.

2.2. Le strade minori

Le varianti dell'attuale SS 77 sono previste con sezione stradale categoria F2 delle norme. La sezione è composta da un'unica carreggiata, a una corsia per senso di marcia, di larghezza 3.25 m, affiancata da una banchina da 1.00 m, per una larghezza totale della piattaforma stradale pari a 8.5 m. Gli elementi marginali sono costituiti da un arginello di 1.00 m in rilevato o da una cunetta alla francese in scavo.

Le strade di servizio e manutenzione sono previste ad unica carreggiata di larghezza 4.0 m, con elementi marginali costituiti da un arginello da 0.50 m in rilevato o da una cunetta alla francese in scavo.

Le varianti delle strade interferenti sono previste con sezione stradale della stessa categoria di appartenenza; in particolare, per le strade statali e provinciali è prevista una sezione tipo C2,

con due corsie da 3,50 m affiancate da una banchina da 1,25 m, per una larghezza complessiva di piattaforma pari a 9,50 m.

La rotazione della sagoma avverrà facendo ruotare inizialmente solo una delle falde attorno all'asse stradale, quindi, arrivati a $P_t = 2,5\%$, facendo ruotare tutta la carreggiata rispetto ad uno dei due margini della carreggiata.

3. CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE

La pavimentazione prevista è la seguente:

Strato	Asse princ. e Rampe
manto di usura in conglomerato bituminoso drenante	cm 5
strato di binder in conglomerato bituminoso	cm 5
strato di base in conglomerato bituminoso	cm 8
strato di fondazione in misto cementato	cm 22
strato di sottofondo in misto granulare	cm 15

Metodo di calcolo

Il dimensionamento della pavimentazione stradale in conglomerato bituminoso è eseguito con il metodo empirico dell'*AASHTO Guide for Design of Pavement Structure - 1993*. Tale metodo permette di ricavare il numero totale di passaggi di assi equivalenti da 8,2 t (ESALS) che la pavimentazione riesce a sopportare prima di raggiungere il valore di PSI finale (PSI = Present Serviceability Index), in corrispondenza del quale si ritiene che la pavimentazione sia giunta al termine della sua vita utile e quindi necessiti di manutenzione.

Note le caratteristiche dei materiali (degli strati legati a bitume, di quelli in misto granulare o stabilizzato, della portanza del sottofondo), ed avendo assegnato spessori di primo tentativo ai vari strati, è possibile avviare un procedimento iterativo che permette di convergere verso la soluzione finale. La convergenza del metodo prevede che il numero massimo di assi che la pavimentazione può sopportare sia superiore o al limite uguale al traffico previsto sulla sovra-

struttura in esame durante l'intera vita utile, espresso sempre in numero di assi di veicoli commerciali equivalenti e derivante da analisi di traffico. Le variabili su cui agire per portare a convergenza il metodo sono quindi proprio gli spessori dei vari strati e le caratteristiche dei materiali. La formula utilizzata è la seguente:

$$\log(W_{18}) = Z_r \cdot S_0 + 9.36 \cdot \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log(M_r) - 8.07$$

essendo:

- W₁₈** numero massimo di assi equivalenti da 8,2 t (ESALS) che portano la pavimentazione al valore PSI finale;
- ΔPSI** differenza tra l'indice di funzionalità (PSI) della pavimentazione all'inizio (assunto di solito pari a 4.2 per pavimentazioni flessibili) e al termine della vita utile; il valore di PSI finale è dedotto dalla tabella 9 del Catalogo delle Pavimentazioni CNR in funzione dell'importanza dell'infrastruttura stradale;
- SO** deviazione standard relativa alle variazioni dalle previsioni di traffico e dalle prestazioni della pavimentazione, valore assunto mediamente pari a 0,45;
- Z_r** fattore di affidabilità, dedotto dall'interpolazione dei valori di tabella del Catalogo della Pavimentazioni CNR (di seguito riportata), in funzione dell'affidabilità percentuale R1:

Fattore di Affidabilità Z _r				
R1	80%	85%	90%	95%
Z _r	-0,841	-1,037	-1,282	-1,645

- EQ** coefficiente di equivalenza tra l'asse standard (da 8,2 t) e gli assi effettivamente transittanti sulla strada, che permette di ricavare il numero di assi standard che produce nella pavimentazione il medesimo danno a fatica del numero di assi effettivamente transittanti. Si possono assumere gli spettri tipici di traffico di veicoli commerciali distinti in base al tipo di strada (Tab. 3 del Catalogo delle pavimentazioni CNR), composti dagli assi dei veicoli tipo (Tab. 2 del Catalogo delle pavimentazioni CNR);
- Mr** modulo resiliente del sottofondo misurato in psi (il valore corrispondente in N/mm² è tratto da Tab. 5 del Catalogo delle pavimentazioni CNR);

SN indice strutturale, che tiene conto degli spessori degli strati (s_i), delle caratteristiche dei materiali dei vari strati (a_i), del drenaggio assicurato dagli strati non legati a bitume (m_i):

$$SN = \sum_i a_i \cdot s_i \cdot m_i$$

Occorre infine considerare la correzione relativa alla temperatura, per tener conto del diverso comportamento dei materiali che si trovano in zone differenti da quelle in cui è stato validato il modello AASHTO. Nei calcoli il fattore di correzione viene indicato con “R”.

Verifica del pacchetto di pavimentazione

Si fa riferimento ad una strada di tipo “B” (extraurbana principale), ipotizzando una portanza del sottofondo pari a 90 N/mm^2 (modulo resiliente M_r), le condizioni climatiche dell’Italia Centrale, il livello di affidabilità pari al 90%, l’indice di funzionalità finale $PSI = 2.5$ ed il numero complessivo di passaggi di assi da 8,2 t (in 20 anni, derivante da analisi di traffico) pari a 23.800.000.

Si riporta di seguito la tabella di calcolo del parametro SN; il valore ottenuto deve essere espresso in pollici, per cui lo si divide per il fattore di conversione 2,54.

SUCCESIONE STRATIGRAFICA DEL PACCHETTO STRADALE					
Strato	Descrizione	a_i	m_i	s_i [cm]	$a_i \cdot s_i \cdot m_i$
1	<i>Usura</i>	0,37		5	1,85
2	<i>Binder cong. Bitum.</i>	0,42	1	5	2,1
3	<i>Base cong. Bitum.</i>	0,35	1	8	2,8
4	<i>Fond. Misto cem.</i>	0,18	1	22	3,96
5	<i>Sottof. Misto gran.</i>	0,13	1	15	1,875
$SN = \Sigma(a_i \cdot s_i \cdot m_i) / 2.54$					4,95

Gli altri parametri utilizzati nel calcolo risultano essere i seguenti:

Dati relativi al Traffico	
W ₁₈	23.800.000
Affidab.	90%
Z _r	-1,282
S ₀	0,45

INDICI DI FUNZIONALITA'			
PSI	PSI _i	PSI _r	A
2,5	4,2	1,5	2,7

CARATTERISTICHE DEL SOTTOFONDO	
Mr	90 N/mm ²

CONDIZIONI CLIMATICHE	
R	1

Il numero di assi standard che portano al PSI finale la pavimentazione è quello riportato nella tabella seguente, che risulta essere maggiore del numero di assi attesi derivante dalle analisi di traffico. La verifica è quindi soddisfatta, con il fattore di sicurezza sotto indicato.

<i>W</i> _{18max}	36.010.097 NESA da 18 ton
Coeff. Sic.	1,51 Coefficiente di sicurezza a fatica

Materiali

Per lo strato di usura è stato previsto un conglomerato bituminoso drenante, caratterizzato da un fuso granulometrico che garantisce il sufficiente volume di vuoti per realizzare le interconnessioni che danno la capacità drenante allo strato.

Le particolari caratteristiche granulometriche (e litologiche) degli inerti impiegati, unitamente ad un alto contenuto di legante modificato con polimeri, consentono a questo tipo di pavimentazione di fornire prestazioni di elevato livello in termini di durabilità, stabilità e resistenza alle deformazioni, rugosità superficiale e resistenza all'ormaiamento.

Per gli altri strati si fa riferimento alle caratteristiche indicate nella tabella 8 del Catalogo delle Pavimentazioni CNR (di seguito riportata); in particolare la granulometria delle miscele bituminose è contenuta nei fusi riportati nelle figg. 1, 2, 3 del Catalogo CNR.

Tab. 8 - Caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali

<u>Conglomerato bituminoso per strato di usura</u>						
traffico	granulometria	bitume	stabilità Marshall (75 colpi)		rigidezza Marshall	vuoti residui Marshall
(1)	(2)	(%)	(Kg)	(daN)	(Kg/mm)	(%)
PP	fig. 1	4.5+6	≥1100	≥1080	300+450	4+6
P	"	"	≥1100	≥1080	300+450	4+6
M	"	"	≥1000	≥980	>300	3+6
L	"	"	≥1000	≥980	>300	3+6
Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ≥ 97%						
<u>Conglomerato bituminoso per strato di collegamento</u>						
traffico	granulometria	bitume	stabilità Marshall (75 colpi)		rigidezza Marshall	vuoti residui Marshall
(1)	(2)	(%)	(Kg)	(daN)	(Kg/mm)	(%)
PP	fig.2	4.5+5.5	≥1000	≥980	300+450	3+6
P	"	"	≥1000	≥980	300+450	3+6
M	"	4+5.5	≥ 900	≥880	>300	3+7
L	"	"	≥ 900	≥880	>300	.3+7
Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ≥ 98%						
<u>Conglomerato bituminoso per strato di base</u>						
traffico	granulometria	bitume	stabilità Marshall (75 colpi)		rigidezza Marshall	vuoti residui Marshall
(1)	(2)	(%)	(Kg)	(daN)	(Kg/mm)	(%)
PP	fig.3	4+5	≥800	≥780	>250	4+7
P	"	"	≥800	≥780	"	"
M	"	3.5+4.5	≥700	≥690	"	"
L	"	"	≥700	≥690	"	"
Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ≥ 98%						
<u>Misto granulare non legato</u>						
CBR (dopo 4gg di immersione in acqua)			CBR ≥ 30%			
Densità (rispetto alla densità AASHTO modificata)			≥ 98%			
<u>Misto cementato</u>						
			Semirigide		Rigide	
Classe di cemento			cemento 197/1 tipo 1+5		cemento 197/1 tipo 1+5	
Contenuto di cemento			2.5+3.5%		3.5+5	
Resistenza media a compressione a 7gg			2.5 ≤ σ _{cm} ≤ 4.5 N/mm ²		4.0 ≤ σ _{cm} ≤ 7.0 N/mm ²	
<u>Conglomerato cementizio</u>						
Resistenza media a trazione per flessione			f _{ctm} = 5.5 N/mm ² (*) (•)		f _{ctm} = 4.0 N/mm ² (**) (•)	
Modulo elastico			E = 47000 N/mm ² (*)		E = 34000 N/mm ² (**)	
Coefficiente di Poisson			ν = 0.2 (*)		ν = 0.2 (**)	

(1) Traffico (T) in numero di autoveicoli commerciali sulla corsia più caricata:

PP (molto pesante)	T > 22.000.000
P (pesante)	8.000.000 < T < 22.000.000
M (medio)	3.500.000 < T < 8.000.000
L (leggero)	T < 3.500.000

(2) Le caratteristiche degli aggregati delle miscele da adottare sono quelle indicate nelle norme CNR per le categorie di traffico PP, P, M ed L individuate in funzione del traffico commerciale complessivo secondo la nota 1.

(*) Per le autostrade extraurbane ed urbane, per le strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico e per le urbane di scorrimento.

(**) Per le strade extraurbane secondarie sia ordinarie che turistiche, per le urbane di quartiere e locali e per le corsie preferenziali.

(•) Valori corrispondenti approssimativamente a resistenze caratteristiche cubiche R_{ck} rispettivamente di 55 e 30 N/mm².

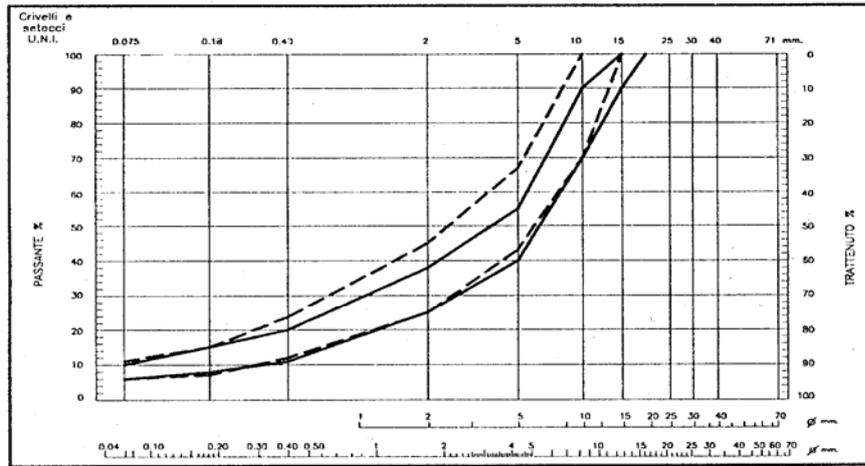


FIG.1 Fuso granulometrico per strato di usura Dmax=20 mm.
 " " " " " " " " Dmax=15 mm.

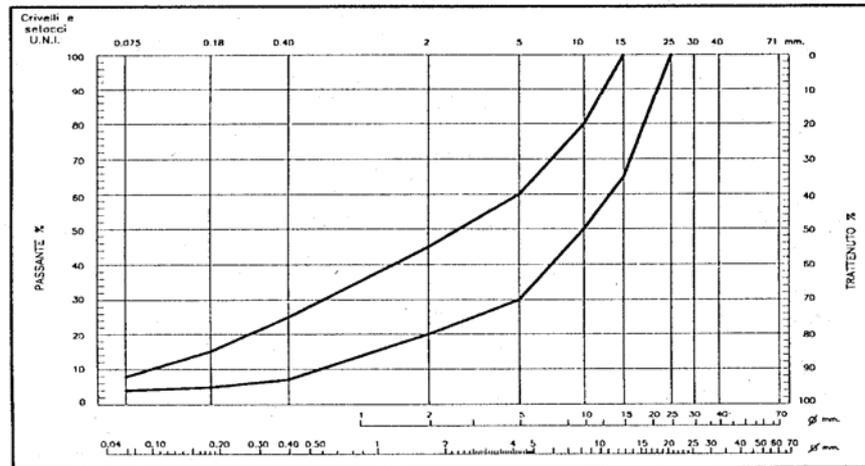


FIG.2 Fuso granulometrico per strato di collegamento

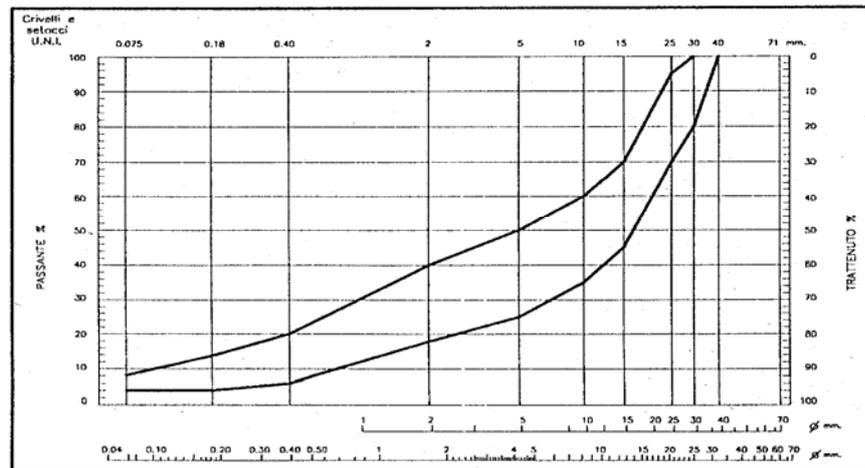


FIG.3 Fuso granulometrico per strato di base

4. BARRIERE STRADALI E DISPOSITIVI DI SICUREZZA

4.1. Premessa

Le barriere di sicurezza nelle costruzioni stradali sono i dispositivi atti a garantire il contenimento dei veicoli nella carreggiata stradale. Le barriere di sicurezza rappresentano l'ultimo ostacolo alla fuoriuscita dei veicoli dalla sede stradale. Esse devono essere inoltre idonee ad assorbire attraverso la propria deformazione parte dell'energia cinetica posseduta dal veicolo all'urto, così da limitare gli effetti dannosi sui passeggeri.

Il D.M. LL.PP. 21.06.04, aggiornamento del D.M. 223 del 18.2.92, disciplina l'impiego delle barriere di sicurezza. Particolare risalto viene dato al livello di deformabilità delle barriere, in termini di spazio laterale di dissipazione (Working Width) del dispositivo, come pure è evidenziata la necessità, per tutti i tipi di barriere, di fornire, in primo luogo, accettabili prestazioni nei riguardi delle collisioni relative ai veicoli leggeri.

4.2. Tipologie

Per quanto concerne i tipi di barriere da adottare, nelle sezioni stradali tipo sono indicate le caratteristiche prestazionali previste nelle diverse applicazioni. Le barriere di sicurezza sono state scelte in base alla classe di severità in relazione all'entità e composizione dei flussi veicolari. Le barriere di sicurezza sono comunque sempre previste nei seguenti casi:

- a) bordo laterale dei rilevati con pendenza $> 2/3$ e altezza superiore a 1.0 m;
- b) bordo laterale delle opere d'arte (ponti, viadotti, sovrappassi e muri di sostegno e sottoscarpia); la protezione è estesa per la lunghezza necessaria ad escludere il rischio di conseguenze disastrose derivanti dalla fuoriuscita dei veicoli dalla carreggiata;
- c) in corrispondenza di ostacoli fissi, laterali o centrali isolati, quali pile di ponti, fabbricati, tralicci di elettrodotti, portali segnaletici, alberature, etc.

A seguito di specifica richiesta del Committente in sede di istruttoria, sono state aggiunte ai lavori i seguenti dispositivi:

- barriere amovibili in corrispondenza dei varchi per lo scambio di carreggiata;
- attenuatori d'urto sulle cuspidi di tutte le uscite sull'asse principale.

4.3. Progetto delle barriere

I criteri di scelta delle barriere di sicurezza seguono quanto stabilito dall'articolo 6 tabella A del D.M. 21 giugno 2004, tenendo conto della posizione della barriera (spartitraffico, bordo laterale, bordo opere d'arte), del tipo di strada e del tipo di traffico.

La strada in progetto è classificata come “extraurbana principale” (tipo B). Il traffico è di tipo III (percentuale di mezzi pesanti maggiore del 15% sul totale); le classi da adottare sono quindi le seguenti:

- Bordo laterale H2-H3
- Spartitraffico H3-H4
- Bordo ponte H3-H4

Il progetto prevede l'installazione di barriere a tripla onda in acciaio, infisse sui cigli dei rilevati e nello spartitraffico, o ancorate su cordoli in c.a. nel caso di opere d'arte.

Tenuto conto degli spazi a disposizione per il funzionamento delle barriere, della notevole larghezza dello spartitraffico e della percentuale di traffico pesante (appena superiore al valore del 15% che definisce il passaggio dal livello di traffico tipo II al tipo III) è stata adottata la classe inferiore tra quelle consentite, assieme alla più opportuna larghezza utile W; in particolare:

- Bordo laterale H2 W6
- Spartitraffico bifilare H3 W6
- Bordo ponte H3 W6

Nei tratti (in terra) ove sono presenti anche le barriere acustiche è sempre prevista l'installazione di una barriera di sicurezza standard omologata H2-W6, posta ad adeguata distanza e quindi in grado di funzionare correttamente entro gli spazi previsti tra sicurvia e barriera acustica.

Per i tratti su opera d'arte nei quali sia richiesta la contemporanea presenza di barriera acustica e sicurvia, in assenza di spazi adeguati è previsto l'utilizzo di una barriera integrata tipo H3 bordo ponte, che assolve ad entrambe le funzioni; è il caso dei viadotti esistenti Renaro e Uppello. Per il viadotto Muccia a via inferiore - data la particolarità della struttura, in cui il pan-

nello antirumore è incorporato nelle travi principali di impalcato - è invece necessario utilizzare uno specifico sicurvia di classe H3-W5 (e anche H3-W4, nel breve tratto in cui gli spazi disponibili sono ulteriormente ridotti, a causa dell'allargamento della sede stradale).

Per quanto concerne la variante della S.S. 77, classificata come strada locale di tipo F2, il traffico è di tipo I (percentuale di mezzi pesanti minore del 5%) per cui si adottano le seguenti classi e relativi spazi funzionali:

- Bordo laterale N2 W4
- Bordo ponte H2 W5

Per strade di natura diversa (poderali etc.) la normativa non prevede particolari misure, lasciando al progettista la valutazione delle scelte più opportune. Solo nei tratti con notevole altezza dal piano campagna si prevede, per tali strade, l'installazione di una barriera tipo N2 W4.

5. SEGNALETICA VERTICALE ED ORIZZONTALE

Il progetto della segnaletica è stato redatto nel rispetto della seguente normativa:

- Decreto del Presidente della Repubblica 06.03.2006, n. 153;
- Legge 01.08.2003, n. 214;
- Decreto Legge 27.06.2003, n. 151;
- Decreto Legge 02.11.1999, n. 391;
- Nuovo Codice della Strada di cui al D.lgs. n. 285 del 30 aprile 1992 e s.m.i.;
- Regolamento di attuazione del Nuovo Codice della Strada di cui al D.P.R. n. 495 del 16 dicembre 1992;
- Direttiva n. 1156 del 28 febbraio 1997 "Caratteristiche della segnaletica da utilizzare per la numerazione dei cavalcavia sulle autostrade e sulle strade statali di rilevanza internazionale".

5.1. Segnaletica orizzontale

Lo schema di segnaletica orizzontale prevede:

- strisce continue di margine di larghezza pari a 15 cm;
- strisce continue di separazione delle corsie di marcia di larghezza pari a 15 cm;
- strisce discontinue di separazione delle corsie di marcia di larghezza pari a 15 cm, lunghezza pari a 4,50 m, distanziate di 3,00 m;
- strisce discontinue in corrispondenza delle piazzole di sosta, di larghezza pari a 15 cm, lunghezza pari a 1,00 m, distanziate di 1,00 m;
- zebature di incanalamento sulle cuspidi, di larghezza pari a 30 cm ad intervalli di 60 cm entro le strisce di raccordo;
- frecce direzionali secondo le dimensioni indicate dal regolamento di attuazione del Nuovo Codice della Strada;
- frecce di rientro impiegate in avvicinamento alle strisce continue secondo le dimensioni indicate dal regolamento di attuazione del Nuovo Codice della Strada;
- strisce trasversali di arresto di larghezza pari a 50 cm;
- strisce trasversali di precedenza costituite da serie di triangoli con la punta rivolta verso i conducenti in arrivo, di altezza pari a 70 cm e larghezza pari a 40 cm.

In particolare, in corrispondenza degli svincoli di Muccia Sud (Km 34+830) e di Muccia Nord (Km 33+000), sono previste strisce di raccordo continue ed oblique (zebratura) per far divergere il flusso veicolare e definire le zone interdette al traffico.

5.2. Segnaletica verticale

Per quanto concerne la segnaletica verticale si adotteranno cartelli di serie grande per gli assi principali e di serie normale per la viabilità locale con le seguenti dimensioni:

- cartelli triangolari di pericolo, di lato pari a 90 cm;
- cartelli di obbligo e divieto circolari, di diametro pari a 60 cm;
- delineatori modulari di curva quadrati, di lato pari a 60 cm.

Per i cartelli di tipo informativo si prevede l'installazione di elementi con lo standard tipico delle strade statali (cartelli chilometrici, cartelli di identificazione dei viadotti e dei sovrappassi).

6. LE OPERE IN TERRA

Il corpo dei rilevati ed i riempimenti dovranno essere costituiti da materiale granulare rispondente alla classificazione delle terre AASHO UNI 10006 ed appartenente ai gruppi: A1 – A2, sottogruppi A1.a - A1.b - A2.4 - A2.5, in ottemperanza alla tabella di seguito allegata.

I suddetti terreni dovranno risultare insensibili al gelo, possedere una media o elevata permeabilità e non dovranno dar luogo a fenomeni di rigonfiamento o di ritiro. Inoltre devono essere costituiti principalmente da ghiaie, breccie, frammenti lapidei calcarei o calcareo marnosi, sabbie grosse e fini. Non è ammessa la presenza di materiali che siano suscettibili di media o elevata compressibilità (argille, limi o altro materiale).

Per la costituzione del corpo dei rilevati si prevede il reimpiego dei materiali provenienti dagli scavi; questi ultimi proverranno prevalentemente da litotipi calcarei e calcareo marnosi, per i quali si prevede, a lavori ultimati, un esubero anche significativo. La naturale distribuzione dei terreni nei due separati settori che costituiscono il sublotto 1.2 rende possibile una buona gestione dei materiali ed il riutilizzo della componente calcarea in prossimità dell'area di scavo. Per poter essere adeguatamente riutilizzati nel corso dei lavori i materiali provenienti dagli scavi dovranno essere opportunamente controllati al fine di escludere le componenti prevalentemente marnose argillose che, localmente, caratterizzano alcune delle formazioni attraversate. La formazione dei rilevati andrà eseguita previa eliminazione, per un adeguato spessore, della coltre vegetale dal piano di campagna. Dopodiché il piano di posa, che si prevede generalmente di buone o ottime caratteristiche, dovrà essere compattato con mezzi meccanici in modo che il peso a secco in situ risulti pari al 90% della relativa prova AASHO. Qualora il terreno in situ non offra le caratteristiche richieste dovranno essere valutate adeguate soluzioni alternative.

Lo spessore dell'eventuale strato di bonifica, dove localmente necessario, sarà comunque colmato con materiali provenienti da scavi.

TABELLA A - CLASSIFICAZIONE DELLE TERRE													
Gruppo	Sottogruppo	Frazione passante allo setaccio UNI 2332			LL (limite liquido)	IP (indice di plasticità)	Indice di gruppo	Materiali caratteristici costituenti il gruppo	Caratteristiche come sottofondo	Azione del gelo	Ritiro o rigonfiamento	Permeabilità	Classificazione generale
		2	0,4	0,075									
A1	A1-a A1-b	<50	<30 <50	<15 <25	-	<6	0	ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane	da	nessuna o lieve	nullo	elevata	
A3	-	-	>50	<10	-	-	0	sabbia fine	eccellente				
A2	A2-4 A2-5 A2-6 A2-7	-	-	<35	<40 >40 <40 <40	<10 <10 >10 >10	0 <4	ghiaia o sabbia limosa o argillosa	a buono	media	nullo o lieve	media o	Terre ghiaio-sabbiose
A4	-	-	-	>35	<40	>10	<16	limi poco compressibili		molto elevata	lieve o medio	scarsa	
A5	-	-	-	>35	>40	<10	<12	limi fortemente compressibili	da				
A6	-	-	-	>35	<40	>10	<16	argille poco compressibili	mediocre a	media	elevato		Terre
	A7-5				>40	>10		argille fortemente compressibili	scadente				limo-argillose
A7		-	-	>35	IP > LL - 30		<20	Plastiche		elevata	elevato	scarsa o nulla	
	A7-6				>40	>10		idem fortemente Plastiche			molto		
A8	-	-	-	-	-	-	-	torbe, detriti organici di origine palustre	inadatte				torbe

7. BILANCIO TERRE E GESTIONE DEI MATERIALI

A fronte di una disponibilità di 3.516.769,24 mc di materiale proveniente dagli scavi, si prevede un reimpiego di 1.138.200,53 mc.

I terreni provenienti dagli scavi sono generalmente di ottima qualità, in quanto si tratta di materiali lapidei provenienti dallo scavo e dalla frantumazione di rocce prevalentemente calcaree, alcune delle quali hanno caratteristiche e proprietà tali da poter essere impiegate come inerti per il confezionamento di calcestruzzi o anche per la produzione di cemento.

In breve, le formazioni della Scaglia rosata, bianca e cinerea, della Maiolica, Diaspri e del Calcarea Massiccio sono reimpiegabili per rilevati, reinterri a tergo o sulle opere, massicciate ed opere in terra in generale. Questi materiali rappresentano, da soli, oltre il 70% del volume di scavo previsto in progetto.

Durante la campagna geognostica sono stati effettuati alcuni studi su campioni, prelevati in affioramento e da sondaggi, per verificare le caratteristiche della roccia in relazione alla produzione di inerti per il confezionamento di conglomerati cementizi. Tali studi hanno evidenziato come a questo scopo siano impiegabili, oltre alla Maiolica ed al Calcarea Massiccio, anche la Scaglia rosata. Di seguito si riportano le tabelle riepilogative con i risultati forniti dal laboratorio.

MAIOLICA

Prova	Norma	Classe di appartenenza	Classe richiesta	Osservazioni
Esame petrografico	UNI EN 12407	Assenti tutti i minerali nocivi	Assenza di tutti i minerali nocivi	OK
Los Angeles	UNI EN 1097-2	LA ₄₀	LA ₃₀	Non idonea per calcestruzzi con Rck > C50/60
Micro Deval	UNI EN 1097-2	Mde ₂₅	-	Le norme non fissano un limite. La prova viene eseguita per calcestruzzi soggetti ad usura
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	F ₁	F ₂	OK
Contenuto di solfati	UNI EN 1744-1	AS _{0,2}	AS _{0,2}	OK
Contenuto di cloruri	UNI EN 1744-1	0,01%	0,03%	OK
Contenuto di zolfo	UNI EN 1744-1	0,11%/0,15%	1,0%	OK
Equivalente in sabbia + Valore di blu	UNI EN 933-8 UNI EN 933-9	SE 65,8 + MB 0,85	SE > 70 o MB < 1,2	OK

SCAGLIA ROSSA

Prova	Norma	Classe di appartenenza	Classe richiesta	Osservazioni
Esame petrografico	UNI EN 12407	Assenti tutti i minerali nocivi	Assenza di tutti i minerali nocivi	OK
Los Angeles	UNI EN 1097-2	LA ₂₅	LA ₃₀	OK
Micro Deval	UNI EN 1097-2	Mde ₃₅	-	Le norme non fissano un limite. La prova viene eseguita per calcestruzzi soggetti ad usura
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	F ₁	F ₂	OK
Contenuto di solfati	UNI EN 1744-1	AS _{0,2}	AS _{0,2}	OK
Contenuto di cloruri	UNI EN 1744-1	0,01%	0,03%	OK
Contenuto di zolfo	UNI EN 1744-1	0,14%/assente	1,0%	OK
Equivalente in sabbia + Valore di blu	UNI EN 933-8 UNI EN 933-9	SE 48,2 + MB 0,94	SE>70 o MB<1,2	OK

Da quanto esposto si evince come il bilancio complessivo dei materiali non renda necessario il reperimento e l'apertura di cave di prestito da cui attingere materiali, constatato che la disponibilità supera ampiamente i fabbisogni di cantiere. Al contrario, esiste il problema relativo al materiale in eccesso da stoccare e smaltire. A tal fine sono stati svolti dettagliati studi che hanno portato all'individuazione dei seguenti quattro siti, ritenuti idonei ed equamente distribuiti fra le Regioni Umbria e Marche:

- Cava attiva in località Caccamo in Comune di Caldarola, con volume teorico accumulabile di circa 1.500.000 mc;
- Cava dismessa in località Bistocco in Comune di Caldarola, con volume teorico accumulabile di circa 1.250.000 mc;
- Cava attiva in località Manciano in Comune di Trevi, con volume teorico accumulabile di 840.000 mc;
- Cava attiva in località Fosso Rio - Matigge in Comune di Foligno, con volume teorico accumulabile di circa 2.400.000 mc.

8. IDROLOGIA E IDRAULICA

Gli aspetti legati all'analisi delle criticità idrauliche presenti sul territorio, al dimensionamento delle opere di attraversamento dei corsi d'acqua principali e secondari, al dimensionamento dei dispositivi di raccolta e allontanamento delle acque dalla piattaforma stradale e al loro eventuale trattamento prima della restituzione, sono stati trattati nella "Relazione idrologica e idraulica".

Le attività condotte al fine della sua redazione sono state articolate nella preventiva individuazione degli Enti competenti in materia idraulica e all'acquisizione dei documenti riportanti norme di attuazione in materia idraulica ovvero i Piani per l'Assetto Idrogeologico. E' stata inoltre acquisita l'ulteriore documentazione tecnica in grado di fornire utili indicazioni ai fini delle valutazioni.

Dal punto di vista delle competenze, il territorio attraversato dall'asse viario "S.S. 77 'Val di Chienti' tronco Pontelatrave-Foligno, tratti Foligno-Valmenotre e galleria Muccia-Pontelatrave (Galleria Muccia inclusa)" si snoda all'interno di due regioni (Marche e Umbria) la cui linea di confine risulta quasi coincidente con lo spartiacque dei due bacini idrografici del fiume Tevere, di livello nazionale, e del fiume Chienti, di livello regionale.

In particolare, sul lato umbro, ci si trova all'interno del bacino idrografico del fiume Menotre, e la competenza in materia idraulica è demandata all'autorità di Bacino del Fiume Tevere, il quale ha appositamente redatto il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Tevere, ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998. Le analisi sono state condotte, pertanto, nel rispetto delle direttive incluse nelle norme tecniche di attuazione attualmente in vigore, che definiscono la delimitazione delle fasce fluviali e delle zone a rischio di inondazione nonché le procedure per la definizione degli idrogrammi di progetto da assumere come piene di riferimento, sono quelle allegate alla revisione del Piano adottato dal Comitato Istituzionale con delibera n. 114 del 5 Aprile 2006.

Sul lato marchigiano, ci si trova all'interno del bacino del fiume Chienti il quale rientra nel sistema dei bacini di livello regionale della Regione Marche e pertanto le relative competenze sono state demandate all'Autorità di Bacino Regionale. Anche per il bacino idrografico del

Chienti è stato redatto il Piano di Assetto Idrogeologico, adottato dal Comitato Istituzionale con Delibera n. 15/2001 e n. 42/2003.

I bacini idrografici dei corsi d'acqua attraversati dall'infrastruttura sono riportati nelle corografie in scala 1:25 000 e 1:100 000.

I fiumi Menotre e Chienti di Gelagna, pur appartenendo a due diversi sistemi idrografici (bacino del Tevere, nel versante tirrenico il primo, bacino del Chienti, nel versante adriatico il secondo) hanno agli attraversamenti bacini praticamente speculari, sia come dimensioni che come caratteristiche superficiali (litologia, copertura vegetale, uso del suolo). Come generalmente avviene per i bacini montani impostati su rocce carbonatiche, il meccanismo di formazione della piena a seguito di eventi meteorologici intensi è fortemente influenzato dall'alta permeabilità dei terreni, legata alla presenza diffusa di rocce molto fessurate che localmente danno vita a fenomeni carsici di infiltrazione anche di notevole entità.

Il tratto umbro, denominato “Foligno – Valmenotre”, attraversa il territorio del comune di Foligno in provincia di Perugia. A partire dall'esistente svincolo sulla S.S. 3 “Flaminia” nei pressi di Foligno, il corridoio stradale di progetto attraversa nel primo tratto la valle del fosso Renaro nei pressi di Uppello.

Il tracciato inizia quindi a salire a mezzacosta lungo il versante nord-occidentale del Monte Serrone, passando in viadotto il Fosso S. Lorenzo ed il Fosso Altolina, e raggiunge in quota la valle del fiume Menotre nei pressi di Pale. Lungo il percorso a mezzacosta è prevista un'alternanza di tratti in galleria e viadotto. Vengono attraversate, in particolare, alcune profonde incisioni di versante percorse dalle testate di brevi e ripidi fossi, per lo più asciutti.

Il tratto marchigiano, denominato “Galleria Muccia – Pontelatrive”, attraversa il territorio dei comuni di Muccia e Serravalle del Chienti in provincia di Macerata. Una volta oltrepassato in galleria il versante meridionale del Monte di Muccia, in sinistra di Chienti, gli attraversamenti in viadotto di questo tratto riguardano il fiume Chienti di Gelagna immediatamente a monte della fine del tratto di intervento.

I corsi d'acqua attraversati dal tracciato stradale, causa di possibili interferenze idrauliche con la struttura di attraversamento, sono stati oggetto di uno studio idrologico-idraulico volto alla determinazione delle portate massime e dei livelli idrometrici raggiungibili dalla corrente nel-

le condizioni “ante opera” e “post operam” al fine di evidenziarne gli scostamenti. A tal fine è stato condotto uno studio sommariamente suddiviso nelle seguenti fasi:

- caratterizzazione climatica del territorio;
- valutazione degli idrogrammi di piena “sintetici”;
- ricostruzione dei profili idrometrici nelle condizioni ante e post operam;
- dimensionamento dei dispositivi di smaltimento acque di piattaforma.

Regionalizzazione statistica

Per la caratterizzazione climatica del territorio, dal punto di vista della sua propensione a generare fenomeni meteorici intensi, sono stati utilizzati risultati ottenuti dagli studi condotti nell’ambito della redazione dei PAI basati su criteri di analisi statistica. Questi sono stati condotti sfruttando i moderni principi di analisi generalmente indicate come tecniche di “regionalizzazione dei dati”. Queste tecniche di analisi statistica consentono di elaborare e di correlare tra loro diversi campioni di dati, provenienti da strumenti di monitoraggio ubicati in zone diverse del territorio, in modo da ottimizzare la densità di informazione disponibile, ridurre le incertezze dovute alla frammentazione delle osservazioni, al fine di una rappresentazione continua ed omogenea del fenomeno indagato all’interno di una regione di territorio.

Una serie di studi orientati a questo obiettivo sono stati realizzati con riferimento ai territorio delle regioni Marche ed Umbria, nell’intento di fornire una misura dell’intensità con cui si manifestano i fenomeni idrologici, sia in termine di portate di massima piena che di precipitazioni intense. Questi sono stati impostati nel rispetto delle procedure di regionalizzazione raccomandate nel Progetto VAPI, facendo quindi uso del metodo del valore indice, e sono stati estesi nelle aree geografiche di competenza dei Compartimenti del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) di Bologna e Roma.

Per il territorio regionale umbro sono stati utilizzati i risultati di uno studio di regionalizzazione statistica, riportati nella pubblicazione “*Determinazione delle precipitazioni di massima intensità e breve durata per la Regione Umbria*”. Lo Studio, realizzato dal Servizio Idrografico Regionale della Regione dell’Umbria, è stato condotto secondo principi metodologici simili a quelli che hanno guidato la procedura VAPI, ma facendo uso di un diverso modello probabilistico, per il quale è stata utilizzata la legge di Gumbel.

La valutazione delle massime portate di piena, da prendere come riferimento nelle progettazioni, è stata condotta previa implementazione di un modello matematico di trasformazione afflussi – deflussi, in grado di restituire non solo i valori della portata massima, ma anche l'andamento temporale della portata fornendo utili informazioni di confronto con il reale andamento di eventi di piena osservati. Tali modelli, che traducono in termini matematici il fenomeno della trasformazione della precipitazione totale in deflusso diretto e, successivamente, la propagazione e accrescimento lungo il reticolo idrografico, sono stati scelti tra quelli maggiormente diffusi nella letteratura scientifica, dotati pertanto di numerosi studi di validazione e di esperienze per la quantificazione dei parametri matematici rappresentativi, attraverso il riconoscimento dei principali caratteri morfologici dei versanti.

Il modello, del quale nella specifica relazione specialistica viene fornita dettagliata descrizione circa i principi teorici sui quali è basato, prevede la simulazione del comportamento del bacino idrografico, ipotizzando una risposta idrologica costante nel tempo (invarianti) e lineare con l'intensità della precipitazione, rappresentando il processo della propagazione dei deflussi mediante un idrogramma caratteristico (idrogramma istantaneo unitario) in modo da consentire la ricostruzione dell'idrogramma di piena attraverso la risoluzione di un integrale di convoluzione.

Per quanto riguarda la determinazione dello ietogramma efficace, ci si è avvalsi della metodologia proposta dal Soil Conservation Service nota come il metodo del Curve Number. Per la successiva determinazione dell'idrogramma di piena è stato utilizzato il noto modello di Nash.

Con questa metodologia sono state valutate le massime portate di piena per ciascuno dei corsi d'acqua attraversati dall'asse viario, inclusi quelli di modeste dimensioni.

Il dimensionamento degli attraversamenti è stato condotto mediante due diversi metodi, in conseguenza dell'importanza dell'interferenza. Per quelle principali, dove le strutture di attraversamento assumono importanti dimensioni, le verifiche sono state condotte con metodo rigoroso, previa analisi delle condizioni idrometriche che si instaurano nel corso d'acqua al passaggio delle onde di piena di notevole entità; mentre nel caso degli attraversamenti minori, costituiti da condotte scatolari di dimensioni relativamente modeste, le verifiche sono state

condotte utilizzando una metodologia semplificata basata sull'ipotesi del passaggio della corrente in condizioni di moto uniforme.

Per i corsi d'acqua principali le analisi si sono avvalse del modello HEC RAS 3.1.3, nell'ipotesi di corrente monodimensionale. Al fine della sua implementazione è stato necessario ricostruire la geometria dell'alveo in modo sufficientemente dettagliato. Si è proceduto quindi all'esecuzione di un nuovo rilievo topografico e batimetrico del corso d'acqua, che ha portato alla ricostruzione di sezioni trasversali distribuite lungo un tratto fluviale di lunghezza sufficiente sia ad imporre le corrette condizioni di valle, sia a valutare l'estensione dei fenomeni di rigurgiti verso monte causati dalla presenza della struttura.

Infine, a partire dalla stessa caratterizzazione climatica di cui si è detto, sono stati dimensionati i dispositivi di raccolta e smaltimento delle acque di origine meteorica dalla piattaforma stradale fino al recapito dei deflussi ai corpi idrici recettori. In funzione della conformazione stradale sono stati individuati differenti sistemi, tali da consentire lo scarico a gravità delle acque verso i recapiti finali.

Le valutazioni circa l'entità delle portate da smaltire sono state condotte facendo riferimento ad eventi meteorici corrispondente ad un tempo di ritorno pari a 25 anni, per i quali si dovrà verificare che tutti gli elementi idraulici di drenaggio raggiungano un grado di riempimento massimo compatibile con la funzione svolta.

9. OPERE D'ARTE

La scelta delle tipologie strutturali da utilizzare per le opere d'arte è stata guidata da criteri di economicità, durabilità e qualità delle opere. Per le opere all'aperto è stata posta particolare attenzione all'aspetto architettonico, cercando soluzioni di impatto contenuto che potessero adattarsi con la necessaria flessibilità alla morfologia dei luoghi.

Le opere d'arte principali sono sostanzialmente riconducibili alle seguenti tipologie:

- 1) Gallerie artificiali;
- 2) Gallerie naturali;

- 3) Viadotti con impalcati a travi prefabbricate in c.a.p.;
- 4) Viadotti con impalcati in struttura composta acciaio-calcestruzzo.

9.1. Gallerie artificiali

Per le gallerie artificiali è stata adottata la tipologia a sezione scatolare in c.a. interamente eseguita in opera (Figura 9.1).

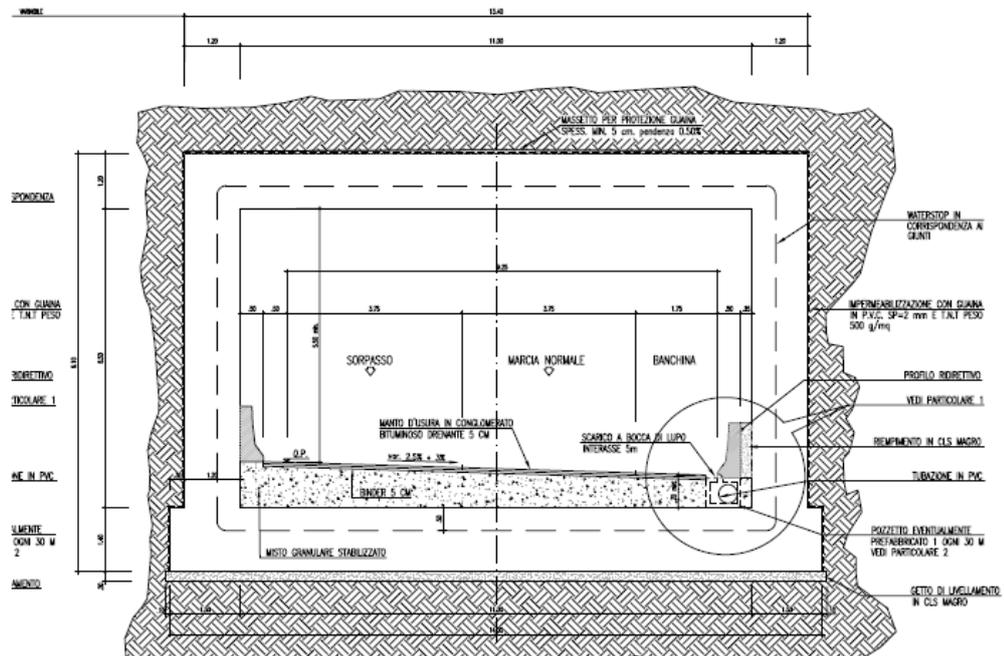


Figura 9.1 - Sezione tipo galleria artificiale

Rispetto al progetto preliminare, oltre alla galleria Colpersico da realizzare in affiancamento all'esistente manufatto, sono state introdotte, in seguito ai necessari adattamenti al nuovo modello del terreno elaborato sulla base di nuova cartografia aerofotogrammetrica e di rilievi celerimetrici integrativi, tre nuove gallerie. Nel complesso le gallerie artificiali presenti nel sublotto 1.2 sono le seguenti:

Asse NORD

Nome	Dimensioni interne	Lunghezza	Progr.In.	Prog.Fine
SAN LORENZO I	11,0x6,5	250,00	2+540,00	2+790,00
SAN LORENZO II	11,0x6,5	130,00	2+985,00	3+115,00

Asse SUD

Nome	Dimensioni interne	Lunghezza	Progr.In.	Prog.Fine
COLPERSICO	11,0x6,9	234,00	1+468,50	1+702,50
SAN LORENZO I	(11,15-12,15) x 6,5	235,00	2+525,00	2+760,00
SAN LORENZO II	2x (12,2x6,5)	105,00	3+007,00	3+112,00
CHIENZI	11,0x6,5	50,00	28+796,00	28+846,00
BRODELLA	11,0x6,5	110,00	33+451,00	33+561,00

9.2. Gallerie naturali

Il tracciato del Progetto Definitivo prevede la realizzazione di 6 gallerie monodirezionali a doppia canna, con fornice caratterizzato da un raggio interno di 5,95 m in modo da contenere una carreggiata con le stesse caratteristiche di quella all'esterno (larghezza complessiva 9,75 m, comprendenti due corsie di marcia da 3,75 m ciascuna e le banchine laterali, da 1,75 m in destra e 0,50 m in sinistra). La carreggiata è delimitata, come previsto dalla vigente normativa, da profili ridirettivi tipo New Jersey gettati in opera a ridosso dei piedritti della galleria stessa, in modo da poter alloggiare anche i vari cavidotti per gli impianti.

In tutte le gallerie è prevista l'ubicazione di una nicchia per l'S.O.S. ogni 150 m circa sul lato destro e di piazzole di sosta, di lunghezza pari a circa 50 m, a una distanza massima di 600 m. Inoltre, le canne delle due carreggiate sono collegate tra loro mediante by-pass pedonali e carrabili, i primi posti ad un interasse di circa 300 m, i secondi ubicati in modo tale da rispettare l'interasse di 900 m previsto dalle vigenti norme stradali (DM 5/11/01).

Nelle gallerie di lunghezza superiore ai 1000 m è stata introdotta la pavimentazione in calcestruzzo, che presenta diversi vantaggi rispetto a quella tradizionale in conglomerato bituminoso: primo fra tutti quello di non contribuire alla combustione in caso di incendio, oltre a una maggiore durabilità, riduzione del rumore e luminosità che migliorano la sicurezza, abbassando il rischio di incidenti e favorendo il risparmio energetico in fase di esercizio.

La pavimentazione prevista è caratterizzata da un pacchetto, realizzato al di sopra del materiale di riempimento, costituito da uno strato di misto stabilizzato avente spessore pari a 30 cm e da una lastra di calcestruzzo non armato di spessore totale 25 cm, a sua volta composta, per i primi 20 cm, da calcestruzzo di classe Rck 35 e per i 5 cm superiori da calcestruzzo Rck 40 con inerte "duro", coadiuvato da un trattamento superficiale per l'asporto delle particelle fini.

Il conglomerato cementizio viene realizzato in due fasi, producendo piastre lunghe circa 6 m, con la larghezza della carreggiata divisa in 3 parti. I giunti trasversali sono armati come giunti

di dilatazione, con barre di compartecipazione solidarizzate ad una delle piastre e libere di scorrere in una guaina in quella adiacente; i giunti longitudinali sono invece collegati da barre in acciaio ad aderenza migliorata annegate nel calcestruzzo.

Nella tabella seguente sono riportate la lunghezza delle singole canne e le relative progressive di imbocco.

GALLERIA	CARREGGIATA NORD			CARREGGIATA SUD		
	Imbocco lato Foligno	Imbocco lato Pontelatrate	Lunghezza	Imbocco lato Foligno	Imbocco lato Pontelatrate	Lunghezza
	progr.	progr.	(m)	progr.	progr.	(m)
Belfiore	3703.24	4806.51	1103.27	3689.80	4802.52	1112.72
Pale	4892.30	7216	2323,70	4917.40	69700	2052,60
Muccia	28923.50	31049.50	2126	28956.74	31180.00	2223.26
Costafiore	31527.20	32095.00	567.8	31558.04	32113.74	555.7
Maddalena	32163.18	32832.85	669.67	32212.04	32785.50	573.46
La Rocchetta	33630.00	34415.00	785	33700.24	34680.00	979.76

Dal punto di vista litologico i terreni interessati dallo scavo appartengono alle seguenti principali sequenze stratigrafiche e, in subordine, ai depositi superficiali recenti:

- terreni di sedimentazione di piattaforma carbonatica, rappresentati dal **Calcere Massiccio**;
- terreni di sedimentazione pelagica rappresentati dalle seguenti litologie (dal basso verso l'alto): **Corniola** (calcarei micritici grigi, stratificati con liste di selce), **Rosso Ammonitici Umbro – Marchigiano** (calcarei nodulari rosati alternati a marne);
- terreni di sedimentazione emipelagica rappresentati dalle seguenti litologie (dal basso verso l'alto): **Maiolica** (calcarei micritici bianchi, stratificati con selce e sottili livelli pelitici), **Marne a fucoidi** (argille, marne varicolori, calcari marnosi con intercalazioni di argilliti nere), **Scaglia bianca** (calcarei micritici bianchi con selce, argilliti e siltiti), **Scaglia Rosa** (calcarei micritici rossi/rosati e marne), **Scaglia Variegata** (calcarei marnosi e marne calcaree), **Scaglia Cinerea** (calcarei micritici e marne), **Bisciario** (marne e calcari siliceo – marnosi), **Schlier** (marne, marne argillose e calcari marnosi).

La tipologia proposta per l'avanzamento dello scavo secondo il metodo ADECO-RS, indicato in capitolato, prevede lo scavo della galleria a piena sezione con tecnica tradizionale.

In base alla litologia, alle coperture ed alle caratteristiche geomeccaniche dei materiali attraversati, si sono individuate nove sezioni tipo denominate, in base al comportamento dell'ammasso allo scavo AB, AC, B0, B0V, B1, B2, B2V, C1 e C2.

Laddove l'ammasso roccioso interessato dallo scavo presenta un comportamento di tipo A, "fronte stabile", lo scavo è seguito, nel caso in cui la litologia e la giacitura favorevole degli strati lo consente, dalla messa in opera di una bullonatura radiale sistematica e di uno strato di spritz beton (Sezione tipo AB) o da una piccola centina metallica singola con spritz beton (Sezione tipo AC).

Nelle tratte in cui l'ammasso presenta un comportamento tipo B, "fronte stabile a breve termine", qualora i soli interventi di contenimento del cavo non risultassero sufficienti si potrà prevedere: la realizzazione di interventi di presostegno del fronte di scavo mediante la messa in opera di una coronella di tubi al contorno (Sezione Tipo B0V e B2V), la messa in opera, nel caso in cui la litologia e la giacitura favorevole degli strati lo consente, di un intervento di una bullonatura radiale sistematica (sezione Tipo B1) ed in ultimo la realizzazione di un intervento di consolidamento in avanzamento del fronte di scavo costituito da elementi strutturali in VTR volti a contrastare l'evoluzione dei fenomeni deformativi in presenza di materiali alterati nelle zone di faglia (Sezione tipo B2, B2V). Gli interventi al fronte verranno dosati quantitativamente e geometricamente in funzione della situazione geologica presente al fronte in fase di scavo. Tali sezioni sono associate alla realizzazione del rivestimento di prima fase in centine e spritz-beton.

Dove lo scavo interessa materiali a comportamento di tipo C - "fronte instabile", i trattamenti di preconsolidamento del fronte di scavo vengono integrati con il consolidamento in avanzamento del contorno del cavo rispettivamente costituito da colonne in jet grouting (Sezione tipo C1) e da elementi strutturali in VTR valvolati e iniettati (Sezione tipo C2).

Inoltre, sia la sezione C1 che la C2 prevedono l'eventuale presenza di un puntone di chiusura del rivestimento di prima fase.

Si riportano nel dettaglio gli interventi previsti e la sequenza delle fasi esecutive per ciascuna sezione tipo.

Sezione tipo AB

La sezione tipo AB è costituita da:

- n. 6 drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua), L=30 m e sovrapposizione pari a 3 m, ciechi i primi 5 m da bocca foro e microfessurati i restanti 25 m;

- un prerivestimento costituito da 20 cm di spritz-beton rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm, eseguito in due fasi: la prima, costituita da 10 cm di pre-spritz, da mettere in opera prima della posa dei bulloni, al fine di ridurre la franosità dello scavo e rendere possibile, alle maestranze, di operare in prossimità del fronte durante la posa dei bulloni in condizioni di adeguata sicurezza; la seconda, strutturale, costituita da altri 10 cm di spritz;
- una chiodatura in calotta costituita da raggiere alternate e sfalsate di 6-7 chiodi Swellex ($T \geq 120$ kN) o in alternativa CT-BOLT M20 ($T \geq 150 \div 180$ kN) $L=4.0$ m e passo $p=1.25$ m;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- rivestimento definitivo in cls semplice, dello spessore di 50 cm in arco rovescio e di 50 cm in calotta.

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione di drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua)

FASE 2: scavo

Lo sfondo potrà avere lunghezza massima pari a 4.50 m, compreso il disaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione, sagomando il fronte a forma concava.

Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase, verrà eseguito un accurato disaggio di tutti i blocchi instabili.

FASE 3: esecuzione pre-spritz

Esecuzione dello spessore di pre-spritz per la messa in sicurezza delle pareti di scavo.

FASE 4: esecuzione della chiodatura radiale

Messa in opera dei chiodi tipo Swellex.

FASE 5: esecuzione del rivestimento di prima fase

Lo spritz-beton deve essere rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm.

FASE 6: getto di murette e arco rovescio in CLS semplice

Il getto delle murette e dell'arco rovescio sarà effettuato a distanza libera dal fronte; dovrà comunque essere regolato in funzione del comportamento deformativo del cavo.

FASE 7: impermeabilizzazione

La posa in opera della impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

FASE 8: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza variabile dal fronte di scavo in funzione del comportamento deformativo del cavo riscontrato in corso d'opera.

Sezione tipo AC

La sezione tipo AC è costituita da:

- n. 6 drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua), L=30 m e sovrapposizione pari a 6 m, ciechi i primi 5 m da bocca foro e microfessurati i restanti 25 m;
- un prerivestimento composto da una singola centina HEB 140 con passo $p = 1.5$ m e da 25 cm di spritz-beton rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm, eseguito in due fasi: la prima, costituita da 10 cm di pre-spritz, da mettere in opera prima della posa della centina, al fine di ridurre la franosità dello scavo e rendere possibile, alle maestranze, di operare in prossimità del fronte durante la posa delle centine in condizioni di adeguata sicurezza; la seconda, strutturale, costituita da altri 15 cm di spritz;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- rivestimento definitivo in cls semplice dello spessore di 50 cm in arco rovescio e di 50 cm in calotta.

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua)

FASE 2: scavo

Lo sfondo potrà avere lunghezza massima pari a 3.0 m, compreso il disaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione, sagomando il fronte a forma concava.

Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase, verrà eseguito un accurato disaggio di tutti i blocchi instabili.

FASE 3: esecuzione pre-spritz

Esecuzione dello spessore di pre-spritz per la messa in sicurezza delle pareti di scavo.

FASE 4: rivestimento di prima fase (messa in opera delle centine e dello spritz-beton)

Appena posate le centine devono essere collegate alle altre attraverso le apposite catene. Lo spritz-beton deve essere rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm,.

La distanza tra l'ultima centina ed il fronte di scavo è pari a 0.75 m circa.

FASE 5: getto di murette e arco rovescio

Il getto delle murette e dell'arco rovescio sarà effettuato a distanza di 4.5ϕ dal fronte; dovrà comunque essere regolato in funzione del comportamento deformativo del cavo.

FASE 6: impermeabilizzazione

La posa in opera della impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

FASE 7: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza variabile dal fronte di scavo funzione del comportamento deformativo del cavo riscontrato in corso d'opera.

Sezione tipo B0

La sezione tipo B0 è costituita da:

- n. 6 drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua), $L=30$ m e sovrapposizione pari a 5 m, ciechi i primi 5 m da bocca foro e microfessurati i restanti 25 m;
- un prerivestimento composto da centine 2 IPN 160 con passo $p = 1.25$ m e da 30 cm di spritz-beton rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm, eseguito in due fasi: la prima, costituita da 10 cm di pre-spritz, da mettere in opera prima della posa della centina, al fine di ridurre la franosità dello scavo e rendere possibile, alle maestranze, di operare in prossimità del fronte durante la posa delle centine in condizioni di adeguata sicurezza; la seconda, strutturale, costituita da altri 20 cm di spritz;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- rivestimento definitivo in cls semplice dello spessore di 60 cm in arco rovescio e di 60 cm in calotta.

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua)

FASE 2: scavo

Lo sfondo potrà avere lunghezza massima pari a 2.5 m, compreso il disaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione, sagomando il fronte a forma concava.

Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase, verrà eseguito un accurato disaggio di tutti i blocchi instabili.

FASE 3: esecuzione pre-spritz

Esecuzione dello spessore di pre-spritz per la messa in sicurezza delle pareti di scavo.

FASE 4: rivestimento di prima fase (messa in opera delle centine e dello spritz-beton)

Appena posate le centine devono essere collegate alle altre attraverso le apposite catene. Lo spritz-beton deve essere rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm;

La distanza tra l'ultima centina ed il fronte di scavo è pari a 0.60 m circa.

FASE 5: getto di murette e arco rovescio

Il getto delle murette e dell'arco rovescio sarà effettuato a distanza di 4.5ϕ dal fronte; dovrà comunque essere regolato in funzione del comportamento deformativo del cavo.

FASE 6: impermeabilizzazione

La posa in opera della impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

FASE 7: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza variabile dal fronte di scavo funzione del comportamento deformativo del cavo riscontrato in corso d'opera.

Sezione tipo BOV

La sezione tipo BOV è costituita da:

- n. 6 drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua), L=30 m e sovrapposizione pari a 6 m, ciechi i primi 5 m da bocca foro e microfessurati i restanti 25m;
- un intervento di pre-sostegno costituito da una coronella di n° 37 tubi in acciaio cementati $\phi 88.9$ mm, sp.10 mm, disposti su un angolo 120° con passo $p=0.40$ m, lunghezza L=18.0 m e sovrapposizione 6.0 m;
- un prerivestimento composto da centine 2 IPN 180 con passo $p = 1.0$ m e da 30 cm di spritz-beton rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm, eseguito in due fasi: la prima, costituita da 10 cm di pre-spritz, da mettere in opera prima della posa della centina, al fine di ridurre la franosità dello scavo e rendere possibile, alle maestranze, di operare in prossimità del fronte durante la posa delle centine in condizioni di adeguata sicurezza; la seconda, strutturale, costituita da altri 20 cm di spritz;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- rivestimento definitivo in cls semplice di spessore 80 cm in arco rovescio e spessore medio 85 cm in calotta; le murette sono in c.a..

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione interventi di pre-sostegno al contorno

Sagomatura del fronte di scavo a forma concava ($f \sim 1.50$ m).

Esecuzione sul fronte di scavo di uno strato di spritz-beton rinforzato con fibre in polipropilene, dello spessore minimo di 10 cm.

Esecuzione del presostegno in calotta secondo la geometria di progetto con la seguente modalità:

- Posa in opera dei tubi metallici al contorno:
 - a) perforazione;
 - b) inserimento tubo e sigillatura boccaforo;
 - c) cementazione del tubo.

FASE 2: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua)

FASE 3: scavo

lo scavo dovrà essere eseguito a piena sezione, per singoli sfondi di lunghezza tra 1.0 m compreso il disaggancio, sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale.

FASE 4: esecuzione pre-spritz

Esecuzione dello spessore di pre-spritz per la messa in sicurezza delle pareti di scavo.

FASE 5: rivestimento di prima fase (messa in opera dello spritz-beton e delle centine)

Appena posate le centine devono essere collegate alle altre attraverso le apposite catene. Lo spritz-beton deve essere rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm.

La distanza tra l'ultima centina ed il fronte di scavo è pari a circa 0.50 m.

FASE 6: getto di murette ed arco rovescio

Il getto delle murette e dell'arco rovescio dovrà avvenire entro 3ϕ dal fronte.

FASE 7: impermeabilizzazione

La posa in opera della impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

FASE 8: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza dal fronte di scavo funzione del comportamento deformativo del cavo riscontrato in corso d'opera, e comunque entro una distanza non superiore a 9ϕ .

Sezione tipo B1

La sezione tipo B1 è costituita da:

- n. 6 drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua), $L=30$ m e sovrapposizione pari a 5 m, ciechi i primi 5 m da bocca foro e microfessurati i restanti 25 m;
- una chiodatura in calotta costituita da raggieri alternate di 8-9 chiodi autopercoranti R25 ($T \geq 200$ kN) o in alternativa CT-BOLT M20 ($T \geq 150 \div 180$ kN) di lunghezza $L=4.0$ m e passo longitudinale $p=1.25$ m;
- un prerivestimento composto da centine 2 IPN 160 con passo $p = 1.25$ m e da 30 cm di spritz-beton rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm, eseguito in due fasi: la prima, costituita da 10 cm di pre-spritz, da mettere in opera prima della posa della centina, al fine di ridurre la franosità dello scavo e rendere possibile, alle maestranze, di operare in prossimità del fronte durante la posa delle centine in condizioni di adeguata sicurezza; la seconda, strutturale, costituita da altri 20 cm di spritz;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;

- rivestimento definitivo in cls semplice dello spessore di 60 cm in arco rovescio e di 60 cm in calotta.

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua)

FASE 2: scavo

lo scavo deve essere eseguito a piena sezione, per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 2.5 m compreso il disaggio, sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale.

FASE 3: esecuzione pre-spritz

Esecuzione dello spessore di pre-spritz per la messa in sicurezza delle pareti di scavo.

FASE 4: rivestimento di prima fase (messa in opera di centine, spritz-beton e chiodatura radiale)

Messa in opera dei chiodi in calotta ed esecuzione del rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton e centine

Appena posate le centine devono essere collegate alle altre attraverso le apposite catene. Lo spritz-beton deve essere rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm.

La distanza tra l'ultima centina ed il fronte di scavo è pari a circa 0.60 m.

FASE 5: getto di murette ed arco rovescio

Il getto delle murette e dell'arco rovescio dovrà avvenire entro 4.5ϕ dal fronte di scavo.

FASE 6: impermeabilizzazione

La posa in opera della impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

FASE 7: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza variabile dal fronte di scavo funzione del comportamento deformativo del cavo riscontrato in corso d'opera.

Sezione tipo B2

La sezione tipo B2 è costituita da:

- n. 6 drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua), $L=30$ m e sovrapposizione pari a 6 m, ciechi i primi 5 m da bocca foro e microfessurati i restanti 25 m;
- un preconsolidamento del fronte realizzato mediante la messa in opera di n° 40 elementi strutturali in vetroresina iniettati, aventi lunghezza pari a $L=18.00$ m e sovrapposizione minima con il campo successivo pari a 6.00 m;

- un prerivestimento composto da centine 2 IPN 180 con passo $p = 1.00$ m e da 30 cm di spritz-beton rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm, eseguito in due fasi: la prima, costituita da 10 cm di pre-spritz, da mettere in opera prima della posa della centina, al fine di ridurre la franosità dello scavo e rendere possibile, alle maestranze, di operare in prossimità del fronte durante la posa delle centine in condizioni di adeguata sicurezza; la seconda, strutturale, costituita da altri 20 cm di spritz;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- rivestimento definitivo in cls semplice dello spessore di 70 cm in calotta e in c.a. dello spessore di 80 cm in arco rovescio; le murette sono in c.a..

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione interventi di pre-consolidamento al fronte

Sagomatura del fronte di scavo a forma concava ($f \sim 1.50$ m).

Esecuzione sul fronte di scavo di uno strato di spritz-beton rinforzato con fibre in polipropilene, dello spessore minimo di 10 cm.

Esecuzione del preconsolidamento al fronte secondo la geometria di progetto con la seguente modalità:

- a) perforazione eseguita a secco $\phi \geq 100$ mm;
- b) inserimento dell'elemento strutturale in VTR;
- c) iniezione da boccaforo.

FASE 2: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua)

FASE 3: scavo

lo scavo deve essere eseguito a piena sezione, per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.0 m compreso il disaggio, sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale.

FASE 4: esecuzione pre-spritz

Esecuzione dello spessore di pre-spritz per la messa in sicurezza delle pareti di scavo.

FASE 5: rivestimento di prima fase (messa in opera delle centine e dello spritz-beton)

Appena posate le centine devono essere collegate alle altre attraverso le apposite catene. Lo spritz-beton deve essere rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm.

La distanza tra l'ultima centina ed il fronte di scavo è pari a circa 0.50 m.

FASE 6: getto di murette ed arco rovescio

Il getto delle murette e dell'arco rovescio dovrà avvenire entro 3ϕ dal fronte di scavo.

FASE 7: impermeabilizzazione

La posa in opera della impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

FASE 8: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito entro 6ϕ dal fronte di scavo.

Sezione tipo B2V

La sezione tipo *B2V* è costituita da:

- n. 6 drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua), $L=30$ m e sovrapposizione pari a 6 m, ciechi i primi 5 m da bocca foro e microfessurati i restanti 25 m;
- un intervento di pre-sostegno costituito da una coronella di n° 37 tubi in acciaio cementati $\phi 88.9$ mm, sp.10 mm, disposti su un angolo 120° con passo $p=0.40$ m, lunghezza $L=18.0$ m e sovrapposizione 6.0 m;
- un preconsolidamento del fronte realizzato mediante la messa in opera di n° 40 elementi strutturali in vetroresina iniettati, aventi lunghezza pari a $L=18.00$ m e sovrapposizione minima con il campo successivo pari a 6.00 m;
- un prerivestimento composto da centine 2 IPN 180 con passo $p = 1.00$ m e da 30 cm di spritz-beton rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm, eseguito in due fasi: la prima, costituita da 10 cm di pre-spritz, da mettere in opera prima della posa della centina, al fine di ridurre la franosità dello scavo e rendere possibile, alle maestranze, di operare in prossimità del fronte durante la posa delle centine in condizioni di adeguata sicurezza; la seconda, strutturale, costituita da altri 20 cm di spritz;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- rivestimento definitivo in cls semplice dello spessore medio di 95 cm in calotta e in c.a. dello spessore di 90 cm in arco rovescio; le murette sono in c.a..

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione interventi di pre-consolidamento al fronte

Sagomatura del fronte di scavo a forma concava ($f \sim 1.50$ m).

Esecuzione sul fronte di scavo di uno strato di spritz-beton rinforzato con fibre in polipropilene, dello spessore minimo di 10 cm.

Esecuzione del preconsolidamento al fronte secondo la geometria di progetto con la seguente modalità:

- a) perforazione eseguita a secco $\phi \geq 100$ mm;
- b) inserimento dell'elemento strutturale in VTR;

c) iniezione da boccaforo.

FASE 2: esecuzione interventi di pre-sostegno al contorno

Esecuzione del presostegno in calotta secondo la geometria di progetto con la seguente modalità:

- Posa in opera dei tubi metallici al contorno:
 - a) perforazione;
 - b) inserimento tubo e sigillatura boccaforo;
 - c) cementazione del tubo.

FASE 3: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua)

FASE 4: scavo

lo scavo deve essere eseguito a piena sezione, per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.0 m compreso il disaggio, sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale.

FASE 5: esecuzione pre-spritz

Esecuzione dello spessore di pre-spritz per la messa in sicurezza delle pareti di scavo.

FASE 6: rivestimento di prima fase (messa in opera delle centine e dello spritz-beton)

Appena posate le centine devono essere collegate alle altre attraverso le apposite catene. Lo spritz-beton deve essere rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm.

La distanza tra l'ultima centina ed il fronte di scavo è pari a circa 0.50m.

FASE 7: getto di murette ed arco rovescio

Il getto delle murette e dell'arco rovescio dovrà avvenire entro 3ϕ dal fronte di scavo.

FASE 8: impermeabilizzazione

La posa in opera della impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

FASE 9: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza dal fronte di scavo funzione del comportamento deformativo del cavo riscontrato in corso d'opera, comunque entro una distanza non superiore a 6ϕ .

Sezione tipo C1

La sezione tipo C1 è costituita da:

- n. 6 drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua), $L=36$ m e sovrapposizioni pari a 9 m, ciechi i primi 6 m da bocca foro e microfessurati i restanti 30 m;

- un preconsolidamento del fronte realizzato mediante la messa in opera di n° 50 elementi strutturali in vetroresina iniettati, aventi lunghezza pari a L=18.00 m e sovrapposizione minima con il campo successivo pari a 9.00 m;
- un preconsolidamento al contorno costituito da terreno consolidato mediante n° 51 colonne in jet-grouting $\phi 80$ cm con passo $p=0.40$ m, aventi lunghezza L=18.0 m e sovrapposizione minima con il campo successivo pari a 9.0 m, delle quali n° 27 colonne, disposte su un angolo 120° in calotta, armate con tubi metallici $\phi 88.9$ mm, sp.10 mm;
- un prerivestimento composto da centine 2 IPN 200 con passo $p = 1.00$ m (con eventuale puntone) e da 35 cm di spritz-beton rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm, eseguito in due fasi: la prima, costituita da 10 cm di pre-spritz, da mettere in opera prima della posa della centina, al fine di ridurre la franosità dello scavo e rendere possibile, alle maestranze, di operare in prossimità del fronte durante la posa delle centine in condizioni di adeguata sicurezza; la seconda, strutturale, costituita da altri 25 cm di spritz;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- rivestimento definitivo in c.a. dello spessore di 100 cm in arco rovescio e dello spessore medio di 95 cm in calotta; le murette sono in c.a..

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione interventi di pre-consolidamento al fronte

Sagomatura del fronte di scavo a forma concava ($f \sim 1.50$ m).

Esecuzione sul fronte di scavo di uno strato di spritz-beton rinforzato con fibre in polipropilene, dello spessore minimo di 10 cm.

Esecuzione del preconsolidamento al fronte secondo la geometria di progetto con la seguente modalità:

- a) perforazione eseguita a secco $\phi \geq 100$ mm;
- b) inserimento dell'elemento strutturale in VTR;
- c) iniezione da boccaforo.

FASE 2: esecuzione del preconsolidamento del contorno del cavo e base centina:

Esecuzione del pre-consolidamento al contorno e base centina in colonne in jet-grouting secondo la geometria di progetto;

FASE 3: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua)

FASE 4: scavo

lo scavo dovrà essere eseguito a piena sezione, per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.0 m compreso il disaggio, sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale.

FASE 5: esecuzione pre-spritz

Esecuzione dello spessore di pre-spritz per la messa in sicurezza delle pareti di scavo.

FASE 6: rivestimento di prima fase (messa in opera dello spritz-beton e delle centine)

Appena posate le centine devono essere collegate alle altre attraverso le apposite catene. Lo spritz-beton deve essere rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata.

La distanza tra l'ultima centina ed il fronte di scavo è pari a circa 0.50 m.

FASE 7: getto di murette ed arco rovescio

Il getto dell'arco rovescio e delle murette deve avvenire entro 1.5ϕ dal fronte, dopo aver eseguito il preconsolidamento del fronte del successivo campo di avanzamento.

FASE 8: impermeabilizzazione

La posa in opera della impermeabilizzazione sarà eseguita immediatamente prima del getto del rivestimento definitivo.

FASE 9: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza di 4ϕ dal fronte di scavo; tale distanza potrà essere regolata in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo, riducibile ulteriormente.

Sezione tipo C2

La sezione tipo C2 è costituita da:

- n. 6 drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua), $L=36$ m e sovrapposizione pari a 6 m, ciechi i primi 6 m da bocca foro e microfessurati i restanti 30 m;
- un preconsolidamento del fronte realizzato mediante la messa in opera di n° 50 elementi strutturali in vetroresina cementati, aventi lunghezza pari a $L=24.00$ m e sovrapposizione minima con il campo successivo pari a 9.0 m;
- coronella di terreno consolidato al contorno mediante n° 55 elementi strutturali in vetroresina valvolati 2vlv/m ed iniettati, aventi lunghezza pari a $L=24.00$ m e sovrapposizione minima con il campo successivo pari a 9.00 m;
- consolidamento al piede delle centine mediante n° 6+6 elementi strutturali in vetroresina valvolati 2vlv/m ed iniettati, aventi lunghezza 24.00 m e sovrapposizione pari a 9.0 m;
- un prerivestimento composto da centine 2 IPN 200 con passo $p = 1.00$ m (con eventuale puntune) e da 35 cm di spritz-beton rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata $\phi 6/10 \times 10$ cm, eseguito in due fasi: la prima, costituita da 10 cm di pre-spritz, da mettere in opera prima della posa della centina, al fine di ridurre la franosità dello scavo e rendere possibile, alle maestranze, di operare in prossimità del fronte

durante la posa delle centine in condizioni di adeguata sicurezza; la seconda, strutturale, costituita da altri 25 cm di spritz;

- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- rivestimento definitivo in c.a. dello spessore di 90 cm in arco rovescio e in calotta; le murette sono in c.a..

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: esecuzione interventi di pre-consolidamento al fronte

Sagomatura del fronte di scavo a forma concava ($f \sim 1.50$ m).

Esecuzione sul fronte di scavo di uno strato di spritz-beton rinforzato con fibre in polipropilene, dello spessore minimo di 10 cm.

Esecuzione del preconsolidamento al fronte secondo la geometria di progetto con la seguente modalità:

- a) perforazione eseguita a secco $\phi \geq 100$ mm;
- b) inserimento dell'elemento strutturale in VTR;
- c) cementazione dell'elemento strutturale ogni 4-5 fori.

FASE 2: esecuzione del preconsolidamento del contorno del cavo e base centina:

Esecuzione del pre-consolidamento al contorno e base centina e secondo la geometria di progetto con la seguente modalità:

- a) perforazione eseguita a secco $\phi \geq 100$ mm;
- b) inserimento dell'elemento strutturale in VTR;
- c) formazione della “guaina” al contorno dell'elemento valvolato ogni 4-5 fori;
- d) iniezione in pressione, valvola per valvola.

FASE 3: esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali, in presenza di acqua)

FASE 4: scavo

lo scavo dovrà essere eseguito a piena sezione, per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.0 m compreso il disaggio, sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale (eseguendo se necessario lo spritz-beton armato sp. 10 cm anche su ognuno di tali fronti).

FASE 5: esecuzione pre-spritz

Esecuzione dello spessore di pre-spritz per la messa in sicurezza delle pareti di scavo.

FASE 6: rivestimento di prima fase (messa in opera dello spritz-beton e delle centine)

Appena posate le centine devono essere collegate alle altre attraverso le apposite catene. Lo spritz-beton deve essere rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata.

La distanza tra l'ultima centina ed il fronte di scavo è pari a circa 0.50 m.

FASE 7: getto di murette ed arco rovescio

Il getto dell'arco rovescio e delle murette deve avvenire entro 1.0ϕ dal fronte, dopo aver eseguito il preconsolidamento del fronte del successivo campo di avanzamento.

FASE 8: impermeabilizzazione

La posa in opera della impermeabilizzazione sarà eseguita immediatamente prima del getto del rivestimento definitivo.

FASE 9: getto del rivestimento definitivo

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza di 3ϕ dal fronte di scavo; tale distanza potrà essere regolata in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo, riducibile ulteriormente

In aggiunta a quanto stabilito dalle specifiche tecniche di Appalto e dai Capitolati di costruzione, si riportano nel seguito alcuni aspetti di basilare importanza per la buona esecuzione dell'opera.

Scavo

Lo scavo sarà condotto “a piena sezione”, sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale.

Per le sezioni di scavo precedentemente descritte sono prevedibili sovrascavi pari ad uno spessore al contorno mediamente di 10 cm. L'assetto strutturale e le caratteristiche geomecchaniche degli ammassi attraversati tende infatti a generare un elevato grado di fratturazione con il conseguente distacco di cunei di piccole dimensioni, in particolare in calotta, generando il sistematico extrascavo quantificabile nella misure sopraesposte; specie nelle formazioni geologiche caratterizzate dalla Scaglia, la fitta separazione strutturale tende a facilitare, lungo il profilo di scavo, il distacco di porzioni di roccia lungo le discontinuità presenti, rendendo non perseguibile una profilatura lungo una superficie perfettamente circolare come previsto secondo le geometrie teoriche di scavo. A questo si aggiunge talora la presenza di locali riduzioni delle caratteristiche di resistenza della roccia, che, costituendo situazioni puntuali di debolezza non prevedibili ed individuabili in avanzamento, possono generare la formazione di extrascavi e sgrottamenti del profilo.

In merito alle modalità di abbattimento della roccia, si è ritenuto di prevedere la riduzione delle vibrazioni indotte dalle operazioni di scavo adottando microcariche o provvedendo allo scavo mediante martellone (massima vibrazione indotta uguale a 50 mm/s). L'adozione dei suddetti sistemi di abbattimento è stata prevista in vicinanza di preesistenze sensibili, specie in corrispondenza degli imbocchi (quali strade e manufatti, case, zone a ridotta copertura); si è invece prevista l'adozione unicamente del martellone per le zone di faglia, dove la presenza di un ammasso alquanto fratturato e/o cataclasato non consente l'impiego dell'esplosivo, o in materiale di natura alluvionale (come in prossimità dei tratti di ricoprimenti e detriti prossimi

agli imbocchi); riduzioni alle vibrazioni sono state previste anche nelle tratte di galleria soggette a fenomeni di carsismo, volendo evitare che uno scavo molto invasivo potesse generare il crollo di cavità prossime alla galleria.

Infine, qualora lo scavo fosse condotto in estrema vicinanza a parti di opere già eseguite, quali i rivestimenti definitivi nella fase di scavo dei by-pass e delle nicchie, si è ritenuto di prevedere un'ulteriore riduzione delle vibrazioni indotte dalle operazioni di scavo, prevedendo l'utilizzo di martellone a potenza ridotta (massima vibrazione indotta uguale a 20 mm/s).

Interventi di preconsolidamento e sostegno

Gli interventi di preconsolidamento del fronte di scavo prevedono l'impiego della tecnologia del rinforzo strutturale dei terreni mediante posa di tubi in VTR delle specifiche indicate in Appalto.

Le perforazioni per la posa degli elementi in VTR dovranno essere eseguite a secco, del diametro di 100 mm. L'inserimento dell'elemento in VTR e la sua cementazione dovrà avvenire al massimo ogni 4-5 fori, allo scopo di evitare franamenti e perdita di efficacia dell'intervento. Occorre prevedere il perfetto inghisaggio degli elementi strutturali al foro di perforazione, mediante completo riempimento dell'intercapedine tra foro ed elemento con miscele cementizie. Per gli interventi del fronte di scavo si impiegherà una miscela binaria acqua/cemento, con resistenza a 48 ore superiore a 5 MPa.

Prerivestimento in spritz-beton

Nell'ambito delle tecnologie da applicare per l'esecuzione degli avanzamenti è previsto per l'esecuzione del prerivestimento l'impiego di calcestruzzo proiettato fibrorinforzato con fibre in polipropilene e armato con rete elettrosaldata.

Il ricorso al fibrorinforzato rappresenta una misura di prevenzione dai possibili rischi di distacco di porzioni di terreno, operando a distanza e proiettando lo spritz già armato da fibre; permette inoltre di conferire allo spritz una maggiore duttilità, così da contenere gli stati fessurativi e quindi di fatto le caratteristiche prestazionali del manufatto.

In corrispondenza del fronte di scavo sarà posto in opera unicamente lo strato di spritz-beton fibrorinforzato senza predisporre rete elettrosaldata, considerando che si procederà successivamente alla sua demolizione (la presenza della rete può comportare infatti difficoltà in fase di scavo).

Rivestimento definitivo

Nelle sezioni tipo di avanzamento di progetto è stata prevista l'armatura dell'intero rivestimento definitivo per i contesti geomeccanici più difficili, laddove è prevedibile un significati-

vo stato deformativo dei rivestimento in opera associabile quindi a fronti di scavo con tipologia di avanzamento tipo C “a fronte instabile”: è questo il caso delle sezioni tipo C1 e C2, previste in corrispondenza dei depositi sciolti agli imbocchi, nei terreni a caratteristiche scendenti in presenza di basse coperture e in ammassi con elevato grado di separazione strutturale (zone di faglia).

Per le sezioni con tipologia di avanzamento tipo B “a fronte stabile a breve termine” è stata prevista l’armatura del solo arco rovescio e murette per le sezioni tipo B2 e B2V applicabile in contesti geomeccanici dove è possibile il verificarsi di cedimenti al piede del rivestimento in ragione di un ammasso di sottofondo più deformabile; in tale contesto è prevedibile il manifestarsi di plasticizzazioni al contorno ed in corrispondenza del piano di fondazione.

Generalmente per contesti di scavo in materiale litoide, con buone caratteristiche geomeccaniche, tali da manifestare una tipologia di avanzamento tipo A “a fronte stabile” o B “a fronte stabile a breve termine” con trascurabili livelli deformativi e di plasticizzazione (sezioni tipo AB, AC, B0 e B1) non è stata prevista alcun tipo di armatura, a meno di situazioni locali quali:

- zone di bassa copertura, sia nelle sezioni successive alla sezione d’attacco sia in zone riscontrabili lungo il tracciato per depressioni morfologiche;
- zone di faglia, con armatura per l’intero rivestimento (qualora l’avanzamento viene condotto con sezioni tipo B2 o B2V armate solo in arco rovescio);
- zone che potessero rappresentare per la loro corticalità una condizione di carico dissimmetrico sul rivestimento definitivo.

Per quanto riguarda le distanze di getto di arco rovescio e murette dal fronte di scavo, sono state fatte le seguenti considerazioni.

La sezione tipo AB viene applicata laddove l’ammasso presenta le migliori caratteristiche geomeccaniche, tanto da non rendere necessaria l’adozione di un prerivestimento costituito da centine metalliche, e pertanto, non essendoci alcun problema di detensionamento della roccia, non si prevede di vincolare il getto di tali membrature.

Le sezioni tipo AC, B0, e B1 sono applicate, nella maggior parte dei casi, in corrispondenza delle scaglie. La formazione della scaglia, rosata, bianca e rossa, è un calcare marnoso che si presenta in strati sottili, ben stratificati, spesso fratturato e con piccole pieghe, quindi una struttura caratterizzata da un basso volume unitario della roccia. In seguito allo scavo, tale materiale subisce un detensionamento che provoca una riduzione dei suoi parametri, che scendono da quelli massimi di picco, tipici dell’ammasso indisturbato, verso quelli residui inferiori. Questo meccanismo di riduzione è favorito se il rivestimento non è sufficientemente rigido, come può essere appunto il prerivestimento. Infatti, la variazione di questi parametri di

resistenza non è tanto conseguente alla deformazione che il cavo subisce al momento dello scavo, quanto alle deformazioni plastiche prodotte dagli elevati stati tensionali che lo scavo induce nell'immediato contorno del cavo, ovvero deformazioni di creep. La misura correttiva più idonea è usualmente costituita da una bullonatura radiale che agisce appunto contro le deformazioni dell'ammasso roccioso a lungo termine. In questo caso la struttura fratturata dell'ammasso rende questo provvedimento non adatto. In alternativa, e con buon esito come si è dimostrato in vari casi, la soluzione è quella di anticipare la chiusura della sezione, costruendo murette ed arco rovescio in posizione ravvicinata, più di quanto richiederebbe la qualità dell'ammasso roccioso. E' risultato che la distanza ottimale in questo caso può essere considerata compresa tra i 4 ed i 4.5 diametri dal fronte di scavo e pertanto quest'ultimo valore è stato adottato nelle corrispondenti sezioni.

Vi sono poi le sezioni tipo B0V, B2 e B2V che vengono applicate nelle zone di faglia, agli imbocchi e nelle tratte dove il materiale risulta alterato, ma con caratteristiche geomeccaniche ancora sufficienti. In tal caso la distanza di getto di murette ed arco rovescio dal fronte è pari a 3 diametri.

Le sezioni più pesanti previste in progetto sono la tipo C1 e la C2 che vengono applicate nelle zone ove l'ammasso presenta caratteristiche molto scadenti (ad esempio zone di frana o imbocchi particolarmente critici). In tal caso è necessario chiudere il più velocemente possibile la sezione e quindi il getto di murette e arco rovescio sarà effettuato molto a ridosso del fronte, ad una distanza di 1.5 diametri nel primo caso e di 1 diametro nel secondo.

Sezioni tipo di drenaggio.

Dal punto di vista idrogeologico la realizzazione di una galleria rappresenta un'alterazione del reticolo di flusso esistente, dal momento che costituisce una zona all'interno dell'ammasso roccioso attraverso la quale permea un certo quantitativo di acqua. La conseguente variazione della superficie piezometrica, rispetto alla configurazione di equilibrio preesistente, può essere gestita attraverso un controllo delle pressioni idrauliche agenti sui rivestimenti della galleria al fine di limitare l'impatto della realizzazione dell'opera nei confronti dell'assetto idrogeologico del territorio.

Il controllo della pressione idraulica agente sul rivestimento dell'opera avviene normalmente mediante la posa in opera di un elemento drenante interposto fra la roccia ed il rivestimento definitivo, o fra prerivestimento e rivestimento definitivo, opportunamente collegato a tubazioni destinate a raccogliere ed allontanare le infiltrazioni d'acqua. Si può quindi immediatamente intuire come possano essere previste diverse sezioni di drenaggio in relazione alle diverse caratteristiche dell'elemento drenante, nonché ai diversi sistemi di raccolta ed allontanamento delle acque. Tali sezioni sono sostanzialmente indipendenti dalle sezioni strutturali, nel senso che la posa in opera del sistema di raccolta delle acque, e la realizzazione delle ope-

re idrauliche per l'allontanamento di quest'ultime, non interferisce con l'aspetto strutturale della galleria se non nel definirne il carico idraulico.

La scelta delle sezioni di drenaggio da utilizzare è stata effettuata tenendo in considerazione il profilo idrogeologico di progetto, i livelli idrici attesi in ciascuna galleria in relazione alle quote di scavo, e la presenza o meno di sorgenti in un adeguato intorno delle opere sotterranee, con il fine principale di tutelare al meglio il territorio e le sue risorse ambientali.

Vengono pertanto di seguito brevemente descritte le sezioni tipo di drenaggio previste e le relative caratteristiche.

Sezione tipo 0a (a drenaggio libero)

Rappresenta la classica sezione di drenaggio utilizzata in galleria. Tra il rivestimento di prima fase e quello definitivo viene posto in opera un tessuto non tessuto (elemento drenante) cui viene sovrapposta una guaina sintetica impermeabilizzante in PVC. Il tessuto raccoglie parte delle acque di filtrazione e le convoglia entro tubi in PVC posti all'altezza della muretta. Questi tubi, mediante pozzetti posti normalmente ogni 50 m, portano l'acqua all'esterno tramite due linee distinte (una per ciascun lato della sezione).

La sezione in argomento viene utilizzata in corrispondenza di carichi idraulici superiori ai 35 m al fine di ridurre le pressioni agenti sui rivestimenti, o in terreni caratterizzati da una permeabilità modesta ove la sua applicazione esclude eventuali interferenze con sorgenti, e comunque più in generale laddove non sono presenti sorgenti nell'intorno dell'opera. La stessa sezione può essere utilizzata quando la falda è posizionata in corrispondenza della livelletta stradale o a quota inferiore rispetto a questa, in quanto la relativa applicazione non determina ripercussioni sui livelli idrici.

Sezione tipo 0b (a drenaggio parzializzato)

Tale sezione è del tutto simile alla sezione 0a; la differenza consiste nel fatto che viene consentito di convogliare l'acqua esternamente alla galleria unicamente alla tubazione posta nell'arco rovescio, e pertanto la sezione può essere considerata sostanzialmente impermeabile. La sezione 0b viene utilizzata in terreni a medio alta permeabilità in presenza di falda ma con carichi idraulici inferiori ai 35 m. La sua applicazione permette di minimizzare le eventuali interferenze fra le gallerie, nelle condizioni di lungo termine, e le falde idriche sotterranee.

Sezione tipo 0c (a drenaggio impedito)

La sezione presenta le stesse caratteristiche della sezione 0b, ma il tessuto non tessuto e la guaina sintetica vengono estesi anche alla zona dell'arco rovescio. Tale sezione di drenaggio, che raggiunge il massimo grado di impermeabilità, viene cautelativamente prevista in presen-

za di carichi idraulici in calotta minori di 35 m ed in presenza di terreni a permeabilità media ed elevata con sorgenti (normalmente perenni) poste nell'intorno della galleria potenzialmente vulnerabili. Questa sezione viene impiegata in tutte le tratte dove è imperativo un rigoroso controllo ambientale relativamente all'acquifero.

La tabella seguente riassume la distribuzione delle sezioni di drenaggio per singola galleria.

Galleria	Sorgenti prossime al tracciato	Livello falda	Sezione tipo idrogeologica
BELFIORE	Non sono presenti sorgenti	La falda è posizionata in prossimità della calotta da km 4+060 a km 4+540	0a su tutta la galleria
PALE	Non sono presenti sorgenti	La falda è posizionata poco sopra la calotta dall'imbocco ovest fino a km 6+320 e sotto la quota di progetto della galleria da km 6+320 a imbocco est.	0b su tutta la galleria
MUCCIA	59, 65, 66, 61	La falda è posizionata al di sopra della galleria con altezze variabili fino a un massimo di 35 m dal centro della galleria.	Sezione 0a da imbocco W a km 30+200 Sezione 0c da km 30+200 a imbocco Est
COSTAFIORE	Non sono presenti sorgenti	La falda è posizionata sotto la galleria o in corrispondenza della calotta.	0a su tutta la galleria
MADDALENA	Non sono presenti sorgenti	La falda è posizionata al di sopra della galleria con carico massimo di 30 m dal centro della galleria.	0a su tutta la galleria
LA ROCCHETTA	64	La falda è posizionata al di sopra della galleria con carico idraulico massimo di 30 m nella parte centrale dell'opera.	Sezione 0c da imbocco W a km 33+850 Sezione 0a da km 33+850 a km 34+196 Sezione 0c da km 34+196 a imbocco Est

Imbocchi

Per quanto concerne gli imbocchi, sulla base dei materiali geomeccanici presenti sono state individuate tre diverse tipologie di attacco del fronte di scavo con le corrispondenti opere di sostegno degli scavi necessari alla realizzazione degli stessi:

Attacco diretto

Realizzabile in presenza di formazioni rocciose con buone caratteristiche geomeccaniche (Maiolica, Calcare Massiccio), dove sono previsti sbancamenti in roccia e stabilizzazione delle pareti mediante la messa in opera di chiodature, reti metalliche di contenimento e spritz-beton. Gli sbancamenti sono stati impostati con pendenze tali da garantire la stabilità del versante (solitamente inclinazione 5 su 1). Generalmente si sono adottate chiodature disposte a maglia quinconcia 2.0 m × 2.0 m, della lunghezza di 6 m, ancorate per l'intera lunghezza, or-

togonali rispetto alla parete di scavo. Si adotteranno barre in acciaio FeB 38K, di diametro ϕ 26 mm.

Berlinese in micropali

Realizzabile per lo più in formazioni geologiche stratificate in livelli di spessore da centimetrico a decimetrico con aspetto scaglioso e/o caotico (Scaglie Rosate, Scaglie Bianche...). Talvolta possono anche includere porzioni di materiale di tipo detritico con la presenza di una granulometria grossolana (detriti di falda). Quale opera di contenimento degli scavi è stata prevista la realizzazione di una paratia tipo “berlinese” in micropali in tubi in acciaio Fe510, con diametro esterno $\text{Ø}152,4$ mm o $\text{Ø}168,3$ mm, spessore 10 mm, disposti a passo 0,50 m, con preforo di diametro $\text{Ø} \geq 220-240$ mm, tirantata. Generalmente si sono impiegati tiranti a 2 - 3 trefoli, disposti con passo 2,5 – 3 m, con inclinazione di 0-15-20° rispetto alla verticale e di 0° sul piano orizzontale. Per le quote di esecuzione degli ordini di tiranti e la disposizione della paratia si rimanda ai relativi elaborati grafici.

I tiranti sono a carattere provvisorio; l’iniezione della miscela cementizia dovrà avvenire ad alta pressione e dovrà essere ripetuta.

Le travi di ripartizione dei tiranti generalmente saranno realizzate mediante 2 profilati metallici HEB 160 o HEB 180 accoppiati.

Pali di grosso diametro

Realizzabile per lo più in formazioni geologiche con prevalenza di materiale di tipo detritico (detriti di falda) dalle maggiori caratteristiche spingenti. Quale opera di contenimento degli scavi è stata prevista la realizzazione di una paratia tirantata in pali in calcestruzzo armato di grosso diametro, $\text{Ø}800$ mm, passo 1000 mm. I pali risultano inoltre collegati ad una trave di coronamento in cemento armato. Generalmente si sono impiegati tiranti aventi un numero di trefoli variabile da 3 a 5, disposti con passo 2,0 m ed inclinazione di 0-15-25° rispetto alla verticale e di 0° sul piano orizzontale.

Nei casi di imbocchi sfalsati dove è richiesta la presenza di una paratia parallelamente ad una delle due carreggiate, onde evitare che la tirantatura di quest’ultima interferisca con lo scavo della canna della carreggiata adiacente, rendendo così necessaria la realizzazione immediata dell’artificiale e del relativo tombamento, si è prevista un’apposita tirantatura particolare realizzata tramite barre Dywidag ed in VTR di lunghezza limitata, tali da svincolare in modo totale le varie fasi esecutive sulle due carreggiate.

9.3. Viadotti

Come già proposto in fase di gara, i viadotti sono stati rivisitati con particolare attenzione all'aspetto formale delle opere, adottando forme arrotondate per le pile, i pulvini e per il guiscio esterno degli impalcati, in funzione di un generale miglioramento dell'inserimento paesaggistico-ambientale, anche in considerazione delle raccomandazioni CIPE, punto D.

Per i viadotti Renaro NORD e Uppello SUD in c.a.p., trattandosi di raddoppio di viadotti esistenti dell'attuale SS 77, non si è ritenuto opportuno adottare forme arrotondate, al fine di non differenziarli dall'esistente opera in affiancamento.

La scelta della tipologia dei viadotti è stata dettata innanzitutto dalla luce delle campate, adottando un appropriato rapporto tra luce ed altezza delle pile, nonché dalla sismicità delle aree interessate. Tali aspetti vengono descritti nel seguito.

Viadotti in c.a.p.

Questa tipologia di impalcato è stata utilizzata per i viadotti con campate fino a 30 m di luce. Si prevede l'utilizzo di travi prefabbricate in c.a.p., precomprese in stabilimento con trefoli aderenti, aventi sezione a Pigreco con ala larga inferiore. L'impalcato viene completato in opera mediante il getto di una soletta di spessore 25 cm su predalles.

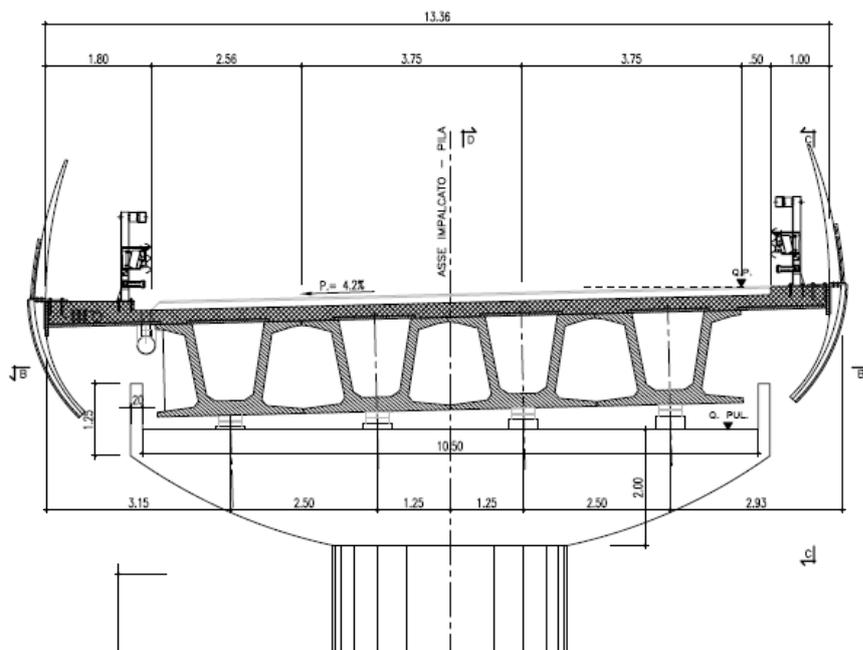


Figura 9.2 - Viadotto in c.a.p.

Dal punto di vista dello schema statico longitudinale, gli impalcati sono semplicemente appoggiati sulle pile e collegati tra loro mediante una soletta di continuità che permette la trasmissione delle azioni orizzontali. L'assenza di giunti di dilatazione tra gli impalcati offre vantaggi sia dal punto di vista del comfort dell'utente (riduzione di discontinuità del piano viabile) sia dal punto di vista manutentivo (problema del degrado dei giunti per effetto dei carichi viaggianti e degli agenti atmosferici).

Considerata l'elevata sismicità dell'area, al fine di ridurre le azioni agenti sulle sottostrutture, si è proceduto ad isolare gli impalcati rispetto alle pile e alle spalle tramite l'installazione di isolatori sismici elastomerici. In questo modo si è aumentato il periodo proprio di oscillazione della struttura riducendo quindi la forza di inerzia sismica derivante dallo spettro di risposta elastico.

Di seguito si riporta la tabella riepilogativa dei ponti e viadotti in c.a.p appartenenti al presente subplotto.

Asse NORD

Nome	Lunghezza	Campate	Progr.In.	Prog.Fine
PONTE FOSSO RENARO	40,40	2 x 20,20	0+771,00	0+811,40

Asse SUD

Nome	Lunghezza	Campate	Progr.In.	Prog.Fine
VIADOTTO UPPELLO	61,40	20,20+21,00+20,20	1+156,35	1+217,75

Le fondazioni sono, in generale, del tipo profondo su pali di grande diametro.

Viadotti in struttura composta acciaio-calcestruzzo

Questa tipologia di impalcati è stata adottata per i viadotti con campate di luce superiore ai 30 m.

L'impalcato è caratterizzato dalla presenza di due sole travi portanti principali a doppio T, poste a distanza variabile in funzione della larghezza dell'impalcato, con traversi di collegamento a doppio T posti ad interasse longitudinale massimo di 6,0 m (Figura 9.3).

La soletta collaborante in c.a., di spessore 25 cm, è realizzata in opera su predalles appoggiate sulle travi principali e su una trave di spina, a sua volta poggiante sui traversi, realizzando così lo schema statico di trave continua su tre appoggi con sbalzi laterali.

Le travi principali sono interamente saldate, mentre i traversi sono uniti alle travi con giunto bullonato. Tutte le carpenterie metalliche sono interamente realizzate in acciaio “Corten”.

Al fine di migliorare l’aspetto estetico degli impalcati, le travi, oltre ad essere interamente saldate, nei tratti in curva saranno realizzate con la stessa curvatura dell’asse stradale.

Riguardo allo schema statico longitudinale è confermata la soluzione di impalcato continuo sulle pile, già prevista nel progetto a base di gara.

La scelta delle giunzioni saldate per le travi principali, con completo ripristino della continuità della trave, e la particolare cura nei dettagli costruttivi, con assenza di irrigidimenti longitudinali d’anima sulle facce interne ed esterne delle travi, conferisce all’opera un notevole pregio formale e, allo stesso tempo, facilita la manutenzione delle parti metalliche.

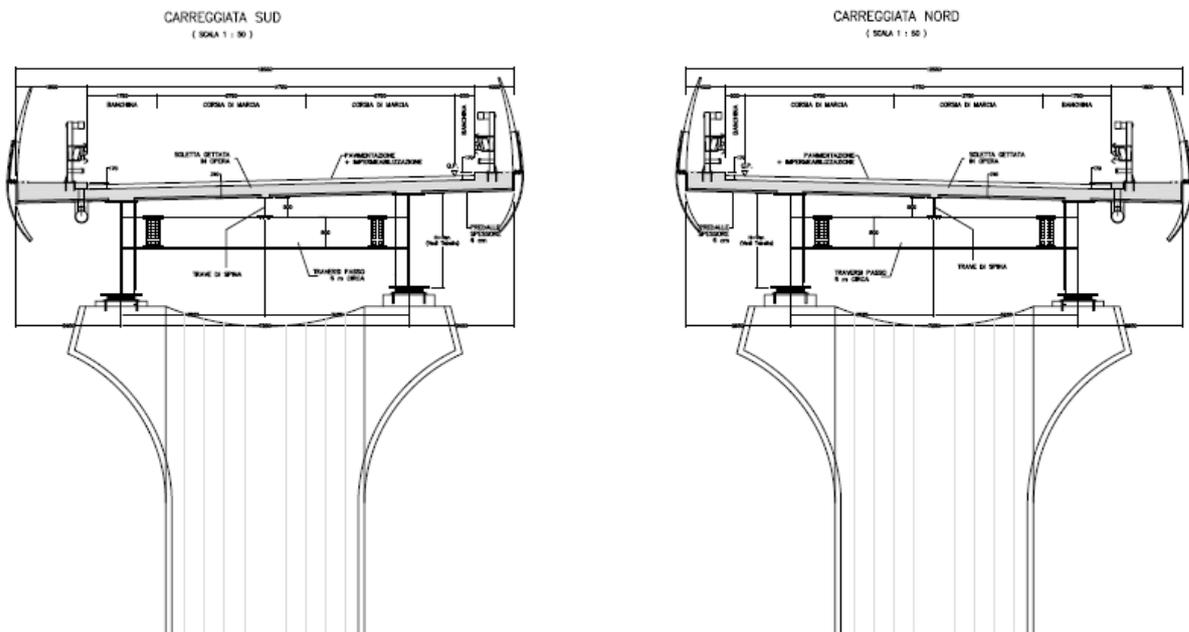


Figura 9.3 - Viadotto in struttura composta

Caso a parte è quello del viadotto Muccia per il quale, considerata la particolarità dei luoghi e la necessità di rendere più trasparente il manufatto, si è ricorso ad uno schema strutturale del tipo ‘a via inferiore’, da realizzarsi mediante una struttura in acciaio corten che incorpora nel suo spessore le barriere antirumore, contenendo così l’ingombro complessivo del manufatto.

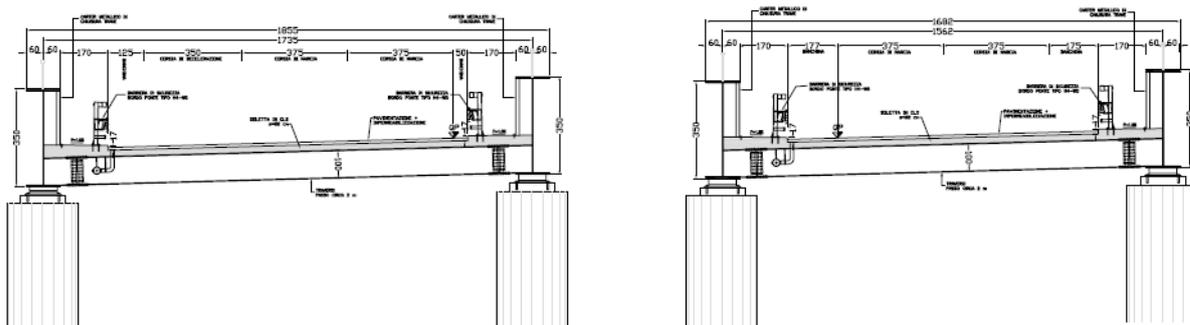


Figura 9.4 - Viadotto Muccia (a via inferiore)

I viadotti a struttura composta presenti nel sublotto 1.2 sono i seguenti:

Asse NORD

Nome	Lungh.	Campate	Prog. In.	Prog. Fine
SAN LORENZO I	351,08	38,04+5x55+38,04	1+975,01	2+324,76
SAN LORENZO II	189,98	39,99+2x55+39,99	3+497,00	3+687,35
PALE	83,00	2x33+17	4+807,91	4+892,19
VIADOTTO SCOPOLI	359,20	55,49+65,13+40,2+45,0+57,56+57,66+38,16	7+241,75	7+600,00
CHIENTI II	430,00	40x6+55+80+55	31+094,00	31+524,00
MUCCIA	225,00	52,5+62,5+2x47,5	33+137,96	33+362,50

Asse SUD

Nome	Lungh.	Tipo	Prog. In.	Prog. Fine
SAN LORENZO I	344,22	37,96+5x53,76+37,46	1+973,15	2+318,46
SAN LORENZO II	190,34	40,17+2x55+40,17	3+485,00	3+674,96
PALE	112,00	2x42,5+27	4+803,96	4+915,96
VIADOTTO SCOPOLI	400,17	35,08+65,03+52,12+52,17+59,1+59,2+39,92+37,53	7+203	7+604,50
CHIENTI II	188,00	54+80+54	31+365,84	31+553,84
MUCCIA	217,00	52+2x65+35	33+130,43	33+347,86

Svincolo MENOTRE

Nome	Lungh.	Campate	Prog. In.	Prog. Fine
RAMPA B V. Scopoli	129,00	64,50+3x21,5	0+536,87	0+661,50
RAMPA A V. Scopoli	100,00	62+38	0	0+100,00

Le fondazioni sono generalmente del tipo profondo su pali di grande diametro o su pozzi; localmente, in presenza di substrato roccioso affiorante, sono previste fondazioni dirette.

Definizione delle strategie di protezione sismica

La strategia di protezione sismica è stata diversificata in funzione della tipologia dei viadotti e della loro geometria, con particolare riferimento alla lunghezza ed altezza dell'opera. In generale sono stati adottati i criteri seguenti:

Viadotti a travi prefabbricate in c.a.p.:

- Campate in semplice appoggio collegate mediante soletta di continuità (catena cinematica);
- Utilizzo di isolatori elastomerici (su pile e spalle);
- Analisi sismica condotta con lo spettro elastico (fattore di struttura $q=1$).

Viadotti (o tronchi di viadotto) in struttura composta a geometria irregolare (pile fino a 15 m):

- Impalcato continuo;
- Utilizzo di isolatori elastomerici con nucleo di piombo (sulle pile);
- Appoggi multidirezionali (sulle spalle);
- Analisi sismica condotta con l'uso di accelerogrammi simulati artificialmente a partire dagli spettri elastici (fattore di struttura $q=1$).

Viadotti (o tronchi di viadotto) in struttura composta a geometria regolare (pile fino a 20-30 m):

- Impalcato continuo;
- Appoggi unidirezionali longitudinali (sulle spalle);
- Appoggi multidirezionali (sulle pile basse);
- Appoggi fissi (sulla pila centrale);
- Appoggi unidirezionali longitudinali (sulle restanti pile) accoppiati a dispositivi di vincolo dinamico (shock-transmitters) per consentire i movimenti termici;
- Analisi sismica condotta con fattore di struttura $q=3,5$ con gerarchia delle resistenze sulle pile.

Per il viadotto Muccia, data la particolare tipologia (a via inferiore con pile isolate a sezione circolare piena) sono stati invece previsti:

- Dissipatori viscosi in direzione trasversale sulle pile e sulle spalle;
- Dissipatori viscosi in direzione longitudinale sulle sole spalle (che sopportano l'intera azione sismica longitudinale);
- Isolatori elastomerici con funzione di ricentraggio elastico sulle pile e sulle spalle;
- Analisi sismica condotta con l'uso di accelerogrammi simulati artificialmente a partire dagli spettri elastici (fattore di struttura $q=1$).

9.4.Opere d'arte minori

Opere di attraversamento stradale

Le opere d'arte minori sono costituite in genere da sottovia scatolari realizzati ex novo o a prolungamento di sottopassi esistenti, necessari per mantenere la continuità della rete viaria esistente attraverso la nuova infrastruttura.

I manufatti scatolari hanno sezione rettangolare, di dimensioni variabili secondo il tipo di strada interferente, e sono realizzati in calcestruzzo armato interamente gettato in opera.

I sottovia presenti nel sublotto sono riassunti nella tabella seguente:

Progressiva	Dim. interne	Lunghezza	Spes.soletta	Spes.fondaz	Spes.piedr
Pr. 00+510.30	5.00x4.50	13,5	0.70	0.90	0.60
Pr. 00+937.76	7.00x5.50	12,4	1.00	1.30	0.80
Pr. 33+115.79	12.00x6.00	35,0+33,2	1.30	1.50	1.20
Pr. 33+377.07	12.00x6.00	41,7+39,6	1.30	1.50	1.20

Opere di attraversamento idraulico

Le opere di attraversamento idraulico sono costituite da:

- Tombini scatolari in c.a.;
- Tombini circolari prefabbricati in cls ($\varnothing 1500$ sull'asse principale; $\varnothing 1000$ sulle deviazioni della viabilità secondaria e svincoli; $\varnothing 800$ per il collegamento dei fossi di guardia).

Opere di sostegno

La vicinanza di insediamenti produttivi o residenziali e comunque i vari vincoli presenti nell'intorno dell'infrastruttura in progetto hanno determinato in alcuni casi l'impossibilità di realizzare la sezione tipo dei rilevati con pendenza delle scarpate 2/3. In altri casi tale circostanza deriva dalla pendenza dei versanti, soprattutto nelle zone a mezza costa, con conseguente necessità di opere di sostegno, sia di sottoscarpa, sia di controripa, al fine di ridurre l'occupazione e, talvolta, proprio per rendere possibile la realizzazione delle opere.

A causa della forte sismicità dell'area e del consistente aggravio delle sollecitazioni sismiche introdotto dalla nuova normativa, non si è ritenuto opportuno realizzare i classici muri di sostegno a mensola in c.a., ma si è optato per opere a gravità e muri prefabbricati di tipo speciale.

In particolare, per il sostegno dei rilevati sono state utilizzate le seguenti tipologie di muri:

- muri in terra armata;
- muri in terra verde rinforzata.

Per i muri di controripa, al fine di contenere gli sbancamenti a tergo, sono state invece adottate gabbionate, fino a 6 m di altezza, e muri prefabbricati con mensola di contrappeso per le altezze superiori.

La scelta dei gabbioni è stata dettata soprattutto dalla notevole disponibilità di smarino proveniente dalle gallerie. I muri prefabbricati proposti, invece, si prestano bene allo specifico utilizzo, e in zona sismica in particolare, in quanto non funzionano con il classico schema a mensola, ma sono costituiti da elementi articolati vincolati a una fondazione di dimensioni contenute (mediante giunto a cerniera) e dotati di mensola posteriore di contrappeso ad altezza intermedia che consente di ottimizzare le fasi di scavo per la costruzione del muro riducendo il volume di terreno da sbancare.

9.5. Prescrizioni per la durabilità dei calcestruzzi

Il calcestruzzo, oltre ai requisiti di resistenza, deve essere durevole, ovvero in grado di resistere in maniera soddisfacente alle condizioni ambientali e di lavoro cui è sottoposto durante la vita dell'opera. Nel seguito si valutano pertanto le caratteristiche dei calcestruzzi da impiegare per la realizzazione delle diverse parti d'opera, al fine di conseguire i requisiti di durabilità richiesti.

Tali requisiti sono essenzialmente correlati alle condizioni di esposizione ambientale dell'opera - cui la normativa associa una classe di resistenza minima del calcestruzzo - e alla vita utile della struttura (attraverso la classe strutturale che determina il copriferro minimo). L'argomento è compiutamente trattato nell'Eurocodice 2 EN1992-1-1 Paragrafo 4 e relativo Annesso E.

Classi di esposizione

In merito alle classi di esposizione ambientale, definite nella tabella 4.1 dell'Eurocodice 2 (in accordo con UNI EN 206-1), si attribuiscono ai vari elementi della struttura le seguenti classi di esposizione:

	Classe di esposizione	Descrizione dell'ambiente
Pali di fondazione	XC2	Bagnato, raramente secco (superfici in cls a contatto con acqua per lungo tempo)
Strutture di fondazione	XC2	idem
Strutture in elevazione	XC4, XF1	XC4: Ciclicamente asciutto e bagnato (superfici a contatto con acqua non comprese nella classe XC2) XF1: Grado moderato di saturazione, in assenza di agenti disgelanti (superfici verticali esposte alla pioggia e al gelo)
Travi in c.a.p prefabbricate	XC4, XF1	idem
Solette di impalcato	XC3, XF4	XC3: Umidità moderata (cls armato con superfici esterne riparate dalla pioggia) XF4: elevata saturazione d'acqua con presenza di agente antigelo
Gallerie nat. (calotta-murette) Gallerie art.	XC3 (XF4 primi 100 m imbocco)	XC3: Umidità moderata (cls armato con superfici esterne riparate dalla pioggia) XF4: elevata saturazione d'acqua con presenza di agente antigelo
Gallerie nat. (arco rovescio)	XC4 (XA1 Pale)	XC4: Ciclicamente asciutto e bagnato (superfici a contatto con acqua non comprese nella classe XC2)
Manufatti scatolari	XC3	XC3: Umidità moderata (cls armato con superfici esterne riparate dalla pioggia)
Muri in c.a. prefabbricati	XC4, XF4	XC4: Ciclicamente asciutto e bagnato (superfici a contatto con acqua non comprese nella classe XC2) XF4: elevata saturazione d'acqua con presenza di agente antigelo

Composizione e proprietà dei calcestruzzi

In funzione della classe di esposizione, la tabella E.1N dell'EC2 fornisce la classe di resistenza indicativa del calcestruzzo. Definita poi la classe strutturale dell'opera, per mezzo della tabella 4.3N, il copriferro minimo è fornito dalle tabelle 4.4N e 4.5N. In particolare, la classe strutturale dell'opera (variabile da S1 a S6) si ottiene a partire dalla classe di riferimento S4 (vita utile 50 anni e classe di resistenza indicativa di tabella E.1N) sulla base dell'effettiva vita utile, della classe di resistenza del cls, della geometria del getto e dell'eventuale garanzia di qualità.

Nella tabella seguente sono riassunti i requisiti previsti per la durabilità del calcestruzzo, secondo la procedura sopra descritta in conformità all'Eurocodice 2. Il copriferro indicato è comprensivo di una tolleranza di 5 mm.

Parte d'opera	Classe di Esposizione	Rapporto massimo a/c	Classe di resistenza	Contenuto minimo di cemento	Classe di consistenza	Copriferro
	(-)	(-)	(Mpa)	(kg/m3)	(-)	(mm)
Pali di fondazione	XC2	0.60	C30	280	S3	50
Strutture di fondazione	XC2	0.60	C30	280	S3	40
Strutture in elevazione	XC4, XF1	0.50	C37	300	S4	40
Travi in c.a.p. prefabbricate	XC4, XF1	0.45	C55	340	S4	30 / 40*
Solette di impalcato	XC3, XF4	0.45	C37	340	S4	30 / 35**
Cordoli impalcato	XC4, XF4	0.45	C37	340	S4	35
Predalles	XC3, XF4	0.45	C45	340	S4	25
Gallerie	XC3	0.55	C37	280	S4	40
Scatolari	XC3	0.55	C37	280	S4	40
Muri in c.a. prefabbricati	XC4, XF4	0.45	C40	340	S4	40

(*) armatura lenta / pretesa

(**) armatura inferiore / superiore

necessaria verniciatura per vita utile 100 anni

Secondo la normativa, gli inerti, naturali o di frantumazione, saranno costituiti da elementi non gelivi e non friabili, privi di sostanze organiche, limose ed argillose, di gesso, ecc.

Gli aggregati devono essere disposti lungo una corretta curva granulometrica, per assicurare il massimo riempimento dei vuoti interstiziali.

La granulometria inoltre dovrà essere studiata scegliendo il diametro massimo in funzione della sezione minima del getto, della distanza minima tra i ferri d'armatura e dello spessore del copriferro. La ghiaia o il pietrisco sono previsti di dimensioni massime commisurate alle caratteristiche geometriche della carpenteria del getto ed all'ingombro delle armature e tale valore è riportato sugli elaborati grafici nella relativa tabella dei materiali.

I copriferri indicati nella precedente tabella, riportati sugli elaborati grafici nella relativa tavola materiali, sono stati determinati con riferimento ad una vita utile di 100 anni.

Trattamenti protettivi del calcestruzzo

Per le parti d'opera soggette a condizioni ambientali particolarmente gravose è previsto, a maggior garanzia di durabilità, la protezione superficiale del calcestruzzo. Gli impalcati da ponte, in particolare, sono soggetti a carichi dinamici e a variazioni di temperatura o di umidità, causa di sollecitazioni di trazione che, in un materiale come il calcestruzzo, provocano microfessurazioni. Queste costituiscono la via d'accesso per aria, acqua e altri agenti dannosi, innescando fenomeni di espansione e quindi di frattura, che possono portare a evidenti fessurazioni, distacchi del copriferro e corrosione delle armature.

Per una vita utile di 40-50 anni, tipica della maggior parte delle strutture in cemento armato, se il cls prodotto è di buona qualità, il problema della presenza di microfessure e della loro trasformazione in macrofessure può essere sostanzialmente ignorato. Se invece la vita utile richiesta è superiore ai 50 anni, il tipo di degrado in questione non può essere assolutamente trascurato.

La soluzione al problema si trova nella protezione esterna delle superfici dei manufatti mediante cicli di verniciatura elastomerica, allo scopo di preservarle dall'aggressione degli agenti esterni. La tipologia di prodotto proposta nel caso in esame è quella delle vernici protettive, dotate di adeguata elasticità, preferibilmente a base d'acqua (o con poco solvente), resistenti all'attacco dei cloruri e dei sali disgelanti. Le vernici, solitamente bicomponenti, dopo la miscelazione vengono in genere applicate a pennello o a rullo, o ancora a spruzzo.

Il trattamento protettivo è previsto per il bordo laterale degli impalcati (cordoli/marciapiedi) - notoriamente soggetti a rapido degrado in presenza di sali disgelanti, come è da prevedersi nel

caso in esame - e per le travi prefabbricate in c.a.p., per le quali il trattamento protettivo consente di mantenere i copriferri entro gli usuali valori previsti nella prefabbricazione (30 mm per l'armatura lenta, 40 mm per quella di precompressione).

10. CANTIERIZZAZIONE

Per la definizione del progetto di cantierizzazione sono state individuate ed approfondite le seguenti tematiche:

- Individuazione delle aree logistiche (campi base), in relazione al collegamento con la viabilità ordinaria esistente sul territorio e con le aree di lavorazione ed indicazione delle caratteristiche e degli apprestamenti necessari;
- individuazione delle aree di cantiere secondarie, definite sulla base delle esigenze legate alle varie tipologie di opere, dell'esame dei collegamenti con la viabilità esistente, dell'accesso all'area logistica, dei vincoli ambientali e di carattere locale ed indicazione delle caratteristiche e degli apprestamenti necessari;
- individuazione delle aree di stoccaggio, definite sulla base delle esigenze legate all'esecuzione delle opere ed in particolare delle gallerie, con particolare attenzione ai collegamenti con la viabilità esistente;
- individuazione delle aree per impianti vari (prefabbricazione conci, frantumazione e betonaggio), definite sulla base delle esigenze legate all'esecuzione delle opere, all'equidistanza e con particolare attenzione ai collegamenti con la viabilità esistente;
- mantenimento della viabilità esistente, anche con predisposizione di eventuali deviazioni provvisorie;
- Studio delle aree di cantiere tipo in corrispondenza delle opere d'arte;
- Indicazioni sulle caratteristiche di realizzazione del campo base.

Inoltre sono state individuate e progettate una serie di strade per il collegamento dalla viabilità principale alle aree operative di cantiere, in particolare agli imbocchi delle gallerie e ai viadotti. Tali viabilità sono in parte di nuova realizzazione ed in parte di adeguamento di strade esistenti.

Infine, nel progetto di cantierizzazione sono state individuate le cave e le discariche fruibili nelle zone interessate dai lavori.

11. IMPIANTI

11.1. Riferimenti normativi e principi generali

I riferimenti normativi sono quelli vigenti nell'ottobre 2006 e precisamente, in ordine decrescente di priorità:

- Circolare 7938 del 06.12.99 “Sicurezza della circolazione nelle gallerie stradali con particolare riferimento ai veicoli che trasportano materiali pericolosi”
- D.M. 05.11.2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”
- Circolare ANAS 33/05
- Circolare ANAS 7735 del 8.9.99 “Direttive per la circolazione nelle gallerie stradali”.

Non sono state tenute in considerazione le prescrizioni della Direttiva europea 2004/54/CE del 29.04.2004, relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della rete stradale trans-europea, in quanto la strada S.S. 77 non fa parte dell'itinerario europeo.

L'illuminazione delle gallerie è stata progettata secondo la nuova normativa UNI 11095 (D.M. 14.09.2005). La rete idrica è stata progettata secondo la normativa UNI 10779.

Per la ventilazione la progettazione fa riferimento alle raccomandazioni PIARC e si basa sull'esperienza del progettista in materia, in particolare riguardo alla manutenzione degli impianti.

La progettazione degli impianti tende all'applicazione dei seguenti principi:

- Ridondanza: se un impianto non è più funzionante, un altro lo sostituisce;
- Affidabilità: il tempo medio di disservizio deve essere estremamente basso;
- modularità dell'installazione: è facile sostituire una parte dell'installazione;

- resistenza al fuoco: tutti i componenti sono resistenti al fuoco o sono protetti con l'effetto del fuoco.

11.2. Scelte progettuali ed impianti previsti

11.2.1. Impianti tecnici lungo la tratta

Sono previste le seguenti opere:

- Installazione lungo tutta la tratta stradale, per ciascuna carreggiata, di canalizzazioni per il futuro passaggio di cavi di telecomunicazione.
- Impianto di distribuzione dell'energia elettrica in Media Tensione, costituito da 10 cabine per il sublotto 1.2 e 12 cabine per il lotto 2.1, previste in corrispondenza delle gallerie per la ricezione e trasformazione dell'energia elettrica prelevata dall'Ente Distributore. In difformità dalle indicazioni del progetto preliminare si è previsto di avere una consegna ENEL ad ogni cabina. Questa scelta progettuale è richiesta dalla normativa ENEL DK5600 ENEL (criteri di allacciamento alla rete MT) dove viene precisato che in caso di alimentazioni di emergenza (leggasi alimentazioni di riserva che deve intervenire in caso di mancanza della consegna principale) devono essere concordate modalità di esercizio "per evitare il parallelo fra le due reti", ciò che il doppio anello in MT previsto dal progetto preliminare non garantisce.
- Sistema di controllo e supervisione degli impianti tecnici costituito da un posto di controllo centralizzato e da una rete principale ad "anello" in fibra ottica che, tramite idonei "nodi", interconnette le reti di comunicazione secondarie interne alle gallerie. Il sistema consente il controllo e la supervisione di tutti gli impianti tecnici previsti.

11.2.2. Impianti di illuminazione in corrispondenza degli svincoli

Gli svincoli e le rotatorie sono illuminati con illuminazione distribuita (pali da 9 m di altezza) per contenere l'inquinamento illuminotecnico.

11.2.3. Impianti tecnici nelle gallerie

Alimentazione elettrica

L'impianto di alimentazione e distribuzione elettrica è costituito dalle cabine elettriche previste in corrispondenza di ogni galleria, dalle apparecchiature necessarie alla trasformazione dell'energia elettrica di rete (quadri elettrici MT, trasformatori MT/BT), dalle apparecchiature necessarie alla produzione di energia elettrica in caso di perdita della fonte ENEL per l'alimentazione delle luci e delle apparecchiature di sicurezza (gruppi elettrogeni, gruppi di continuità UPS) e dalle apparecchiature e linee elettriche necessarie alla distribuzione dell'energia elettrica ai singoli utilizzatori (quadri elettrici BT, cavi elettrici, cavidotti e, nel caso della galleria Muccia che ha una cabina interna alla galleria stessa, trasformatori BT/MT).

Il numero e il tipo di cabine dipende ovviamente dalla lunghezza delle gallerie e dagli impianti che saranno messi in opera.

- Per le gallerie di lunghezza inferiore a 500 m, laddove l'allacciamento a ENEL non presenta difficoltà, l'alimentazione elettrica è prevista in bassa tensione.
- Per le altre gallerie di lunghezza inferiore a 1000 m l'alimentazione elettrica è prevista in media tensione (20 kV), tramite una cabina posta vicino ad un imbocco di galleria.
- Per le gallerie di lunghezza superiore a 1000 m l'alimentazione elettrica si fa in media tensione (20 kV), tramite una cabina posta vicino ai due imbocchi di galleria.

Impianti di illuminazione delle gallerie

L'illuminazione delle gallerie è costituita di:

- illuminazione di base, con corpi illuminanti simmetrici a Na alta pressione;
- illuminazione di rinforzo all'imbocco di entrata, con corpi illuminanti asimmetrici per consentire l'illuminazione a controflusso;
- illuminazione di sicurezza (by-pass, nicchie, cartellonistica).

L'illuminazione di base e di rinforzo è disposta secondo due file di corpi illuminanti sul bordo laterale delle corsie di marcia, per evitare interferenze con i 3 jet-fan presenti nelle gallerie lunghe. Tuttavia, per le gallerie più lunghe di 1000 m, laddove non c'è illuminazione di rin-

forzo nè acceleratori (ovvero nella zona centrale delle gallerie), è stato scelto di predisporre i corpi illuminanti dell'illuminazione di base su un'unica fila laterale.

Impianti di ventilazione delle gallerie

Come richiesto dalle normative (PIARC, Direttiva EU), le gallerie più lunghe di 1000 m sono attrezzate di jet-fan. Lo scopo di queste attrezzature è di consentire la diluizione degli inquinanti in caso di gestione normale congestionata e dei fumi in caso di incendio.

Il livello di traffico relativamente basso consente di utilizzare la ventilazione longitudinale senza estrazione intermedia anche per le gallerie più lunghe (galleria Varano del sublotto 2.1) poiché il rischio di congestione e/o di sovraincidente a valle di un incendio ha una bassissima probabilità.

Per le gallerie di pendenza superiore al 3% la ventilazione è molto dissimmetrica tra la canna direzione Foligno e quella direzione Pontelatrive. Infatti, nelle canne con traffico in discesa, per contrastare l'effetto camino, è necessario installare molti acceleratori.

La scelta di predisporre gli acceleratori in batterie di 3 deriva dall'ottimizzazione tra sezione dei cavi ed efficienza aeraulica.

Per consentire il pilotaggio della ventilazione sono previsti strumenti analizzatori dell'atmosfera in galleria (opacimetro e misuratore di CO) e anemometri.

E' previsto inoltre un impianto di "pressurizzazione" dei by-pass pedonali, costituito da ventilatori in grado di impedire l'ingresso dei fumi nel collegamento pedonale, sia a porte chiuse che nella condizione di apertura della porta affacciata verso il fornice interessato dall'incendio. La capacità di sovrappressione di 80 Pa sarà regolata in funzione delle condizioni reali del sito.

Impianto di rivelazione incendi

Tale impianto è costituito di telecamere con software di rilevazione fumi, sistema innovativo già messo in opera in alcune gallerie della rete autostradale italiana. Questo sistema consente una risposta tempestiva (nell'ordine del minuto) come in generale richiesto dagli standard di sicurezza e rispondente alle analisi di rischio, cosa che il sistema previsto dal progetto preliminare non consentiva (per gallerie di lunghezza superiore a 1000 m, cavo coassiale termosensibile; per gallerie superiori ai 2000 m, installazione di un cavo in fibra ottica e delle rela-

tive centrali di controllo idonee alla rivelazione “puntuale” dell’incendio in ridondanza dal primo sistema: entrambi i sistemi hanno un tempo di risposta tra 6 e 8 mn). Detto sistema può essere telegestito e mantenuto dal locale tecnico.

Impianto idrico antincendio

In conformità con il progetto preliminare, per le gallerie di lunghezza superiore a 1000 m, l’impianto è costituito da un serbatoio di riserva idrica di capacità utile 144 m³, alimentato dall’acquedotto pubblico. Il serbatoio alimenta un anello antincendio a servizio della galleria. Ad interdistanza di 150 m sono previsti idranti in casetta UNI 45 e UNI 70. Agli imbocchi sono previsti idranti UNI 70 ed attacchi autopompa VVF.

A seguito di richiesta del Committente in sede di istruttoria, l’impianto idrico antincendio è stato introdotto anche per le gallerie di lunghezza compresa tra 500 m e 1000 m (gallerie Costafiore, Maddalena e La Rocchetta del subplotto 1.2 e galleria Taverne del subplotto 2.1).

Segnaletica

Al di là della cartellonistica stradale (simbolo e nome della galleria, limiti di velocità), è prevista la messa in opera, sui piedritti della galleria, di cartelli che indicano la distanza delle vie di fuga e di cartelli retroilluminati di indicazione delle postazioni SOS.

Per le gallerie con piazzole di sosta, esse sono indicate con cartelli retroilluminati e con un cartello di preindicazione.

Nel caso delle gallerie di lunghezza superiore a 1000 m è prevista l’ulteriore installazione di pannello esterno a “messaggio variabile” e di pannello di segnalazione “freccia/croce” in corrispondenza degli imbocchi di entrata.

A seguito di richiesta del Committente in sede di istruttoria sono stati eliminati i tritici luminosi, adeguando la segnaletica al D.lgs. 264/06. Inoltre, in tutte le gallerie aventi lunghezza superiore ai 500 m è stato introdotto, su ciascuna canna, il corrimano luminoso, limitatamente al lato destro della carreggiata come richiesto dai tecnici dell’ANAS.

Rete SOS

L'impianto S.O.S. è costituito da armadio/S.O.S./fonico, ad interdistanza di 150 m, in ogni nicchia.

Impianto TVCC e controllo del traffico

L'impianto, per le gallerie di lunghezza superiore a 1000 m, è costituito da sistema di video-sorveglianza con telecamere a colori posizionate ad interdistanza di 150 m. Il sistema consente la rilevazione degli incidenti, l'analisi del traffico e il conteggio dei veicoli presenti in galleria. Detto sistema si basa sul concetto di intelligenza distribuita; consente la telegestione e la manutenzione dal locale tecnico; presenta bassi assorbimenti energetici.

Impianti di rete

Ogni galleria è dotata di un controllore di testa (CT), posto nel locale esterno ove è installato il PLC master degli altri impianti. Il CT ha il compito di controllo e comando degli impianti speciali TVCC, rilevamento automatico incendio e RF, parte del presente progetto, oltre a garantire la comunicazione di tutti gli impianti con il superiore gerarchico CCC – Sala di Controllo e Comando.

Dal CCC – non compreso nel presente progetto - gli operatori dovranno poter monitorare:

- lo stato di tutti gli impianti della rete stradale;
- lo stato del traffico;
- le condizioni ambientali;
- la presenza di pericoli per l'incolumità degli utenti della strada... e così via....

E' quindi possibile agire di conseguenza (comando ventilazione, chiusura di una galleria a causa di un incidente, deviazione del traffico, ecc.) potendo valutare e verificare l'impatto delle azioni sull'intera rete stradale per mezzo dell'impianto TVCC.

La dorsale in fibra che garantisce la comunicazione tra i CT di ogni galleria e il CCC, di seguito Rete Principale RP- sarà composta da un cavo in fibra ottica monomodale da posare nel seguente modo:

- in galleria, attraverso i cavidotti dedicati alla telematica;
- su terreno, ove si dovrà prevedere scavo e posa di tritubi come da specifiche;
- lungo i viadotti, con canaletta come da specifiche.

La chiusura ad anello dovrà essere garantita con la stesura di un cavo in FO.

12. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il tracciato di progetto interseca una successione stratigrafica continua deformata compresa tra il Giurassico inferiore ed il Miocene e costituita, dal basso verso l'alto, dai seguenti termini:

- Calcarea massiccio (Hettangiano – Sinemuriano);
- Corniola (Lotharingiano – Domeniano);
- Formazione del Bosso, Calcari e Marne del Sentino (Dogger);
- Calcari Diasprini (Calloviano – Titoniano);
- Maiolica (Titoniano sup. – Aptiano inf.);
- Marne a Fucoidi (Aptiano inf. – Cenomaniano inf.);
- Scaglia bianca (Cenomaniano medio – Turoniano Medio);
- Scaglia rosata (Turoniano sup. – Eocene Medio);
- Scaglia variegata (Eocene sup. – Oligocene inf.);
- Scaglia cinerea (Oligocene Sup. – Burdigaliano);
- Bisciario (Burdigaliano – Langhiano Inferiore);
- Schlier (Langhiano Inferiore – Superiore).

Calcarea Massiccio: affiora a grandi linee intorno all'abitato di Pale. Costituisce l'elemento più profondo ed antico dell'intera sequenza stratigrafica presente in zona. La formazione è costituita da potenti strati (da metrici a decametrici) di calcarea bianca o bianco grigiastro, detritico, cristallino od oolitico, di aspetto massivo; si trova in contatto stratigrafico con, al letto il Calcarea Cavernoso, mai affiorante nell'intera estensione del tracciato, ed al tetto la Corniola. La potenza dell'intera formazione arriva al massimo a 600 m (dato di letteratura). La composizione calcarea pura, unitamente allo stato di permeabilità per fessurazione, favorisce l'instaurarsi di fenomeni carsici, localmente anche importanti, come solchi di carreggiamento, riprecipitazioni calcaree, fessurazioni, inghiottitoi e grotte.

Corniola: micrite biancastra, grigia o beige, molto omogenea, stratificata regolarmente in strati decimetrici con selce bruna o nera in liste e noduli, presente nella parte superiore della formazione. La potenza arriva al massimo a 200 m (dato di letteratura) ma può variare fino a pochi metri nelle serie condensate. Questo litotipo può sviluppare forme di carsismo.

Formazione del Bosso, Calcari e Marne del Sentino: alternanze di calcareniti, calcari, calcari marnosi, marne e marne argillose. Nella serie ridotta dell'Appennino Umbro Marchigiano può sostituire tutte le formazioni comprese tra il Rosso Ammonitico e le Marne a Posidonia. La potenza arriva al massimo a 100 m (dato di letteratura) ma può variare fino a pochi metri nelle serie condensate.

Calcari Diasprini: alternanze di strati centimetrici di calcare e di selce. La potenza arriva al massimo a qualche decina di metri (dato di letteratura) ma può variare fino a pochi metri.

Maiolica: calcari micritici bianchi, ben stratificati di potenza da decimetrica a metrica, con livelli di selce grigio nerastra e livelli pelitici scuri verso l'alto. Lo spessore della formazione può variare tra 20 e circa 400 m. Si incontra al nucleo delle pieghe antiformali principali, con inclinazione degli strati piuttosto variabile ed elevata fratturazione. La Maiolica presenta in più punti evidenze di fenomeni carsici quali evidenze di dissoluzione ed inghiottitoi.

Marne a Fucoidi: marne e argille marnose varicolori con subordinati calcari e calcari marnosi. Lo spessore massimo raggiunto da questo litotipo nell'area in studio è di circa 200 m. Giace in contatto stratigrafico con la sottostante formazione della Maiolica e interseca il tracciato di progetto quando quest'ultimo attraversa le pieghe antiformali principali.

Scaglia bianca: calcari micritici bianchi, ben stratificati, intercalati a livelli di selce nera. Lo spessore degli strati varia da centimetrico a decimetrico e l'intera formazione ha una potenza di circa 50 – 80 metri. Nell'area di progetto si incontra al contatto con le marne a Fucoidi, e con un andamento che rispecchia quello della formazione stratigraficamente sottostante. A causa della composizione decisamente calcarea presenta evidenze di erosione carsica quali, principalmente, inghiottitoi e doline.

Scaglia rosata: calcari micritici rossi, rosati o bianchi con intercalazioni marnose e di liste e noduli di selce rossa. Presenta strati di spessore variabile da centimetrico a decimetrico mentre l'intera formazione ha una potenza variabile tra i 200 ed i 400 metri.

A causa della limitata potenza degli strati e di una composizione calcarea e calcareo marnosa si deforma in modo pervasivo e coerente per il suo intero spessore formazionale. Per questo motivo la Scaglia rosata assume inclinazioni estremamente variabili (da orizzontali a verticali) ed immersioni sia verso i quadranti occidentali che verso quelli orientali. La fratturazione e una certa continuità di giaciture poco inclinate porta, nell'area della piana di Colfiorito, allo sviluppo di fenomeni carsici quali inghiottitoi e doline.

Scaglia variegata: calcari marnosi e marne calcaree in strati da centimetrici a decimetrici di colore variabile tra il rosa ed il grigio verde. Lo spessore della formazione è compreso tra i 20 ed i 40 metri.

Scaglia cinerea: marne, marne argillose, marne calcaree e, subordinatamente, calcari marnosi di colore grigio cenere. Dal punto di vista geologico strutturale la scaglia cinerea risulta piegata concordemente alle formazioni a tetto ed a letto.

Bisciario: argille marnose, marne e subordinatamente calcari marnosi con interstrati pelitici o argillosi. Gli strati sono da sottili a medi (da centimetrici a decimetrici), di colori che variano tra grigio azzurro, grigio e marrone grigiastro. Sono anche presenti livelli di arenarie fini cineritiche vulcanoclastiche. La successione possiede un grado di litificazione non elevatissimo, ma comunque maggiore della formazione dello Schlier, elemento caratteristico e distintivo per il riconoscimento sul terreno. Questa formazione è interessata dal clivaggio di frattura regionale, con direzione appenninica (N140° - N160°) e con immersioni variabili tra il nord est ed il sud ovest.

Schlier: argille, marne argillose, marne e marne calcaree debolmente litificate. Gli strati, quando riconoscibili, sono sottili (centimetrici), di colore grigio – grigio azzurro, con un'elevata percentuale di componente argillosa rispetto a quella marnosa – marnoso calcarea. Come nella formazione del Bisciario, possono essere presenti livelli di arenarie fini cineritiche vulcanoclastiche. Il grado di litificazione di questa formazione è basso, tanto da ricordare (salvo rari casi) l'aspetto di argille sovraconsolidate piuttosto che di roccia vera e propria. Le giaciture degli strati sono variabili, sempre con direzioni approssimativamente appenniniche (N140° - N180°) ma con immersioni variabili da orizzontali, a sud ovest, a nord est.

Sui termini del substrato poggiano coperture costituite da:

Alluvioni terrazzate ed antiche: distribuite in corrispondenza dei letti dei fiumi Menotre e Chienti sono rappresentate da depositi prevalentemente ghiaioso – sabbiosi, talvolta con grossi ciottoli, in matrice limoso sabbiosa. La frazione fine talvolta aumenta in percentuale arrivando a formare lenti limose o limoso argillose.

Depositi di conoide di deiezione: queste conoidi si trovano allo sbocco di impluvi collinari e sono costituite da materiali ghiaiosi, sabbiosi e limosi in percentuali variabili.

Coltri colluviali: Si trovano distribuite in tutta l'area e sono costituite dall'alterazione meteorica dei litotipi immediatamente sottostanti.

La successione si presenta sul terreno continua e a polarità diritta, con una percentuale di roccia affiorante variabile che diminuisce, in funzione della litologia, verso l'alto della successione dove sono presenti rocce più debolmente litificate e quindi maggiormente suscettibili alla pedogenesi.

I materiali risultano piegati in una successione di strutture antiformi e sinformi che determinano giaciture degli strati con immersione variabile sia verso ovest che verso est..

La tettonica fragile che a più riprese ha interessato l'area si evidenzia attraverso un corteo di faglie e sovrascorrimenti che frammentano la continuità della successione, scoprendone talvolta la parte più antica e profonda.

Le rocce in affioramento si presentano piegate, con un clivaggio fortemente penetrativo che talvolta oblitera le caratteristiche sedimentarie delle rocce stesse. I piegamenti generano inclinazioni degli strati che possono variare da suborizzontali a circa 60°.

Le strutture plicative e le principali faglie presentano andamenti “appenninici” (NNW-SSE) e sono correlate alle spinte tettoniche di accavallamento del Dominio Umbro – Marchigiano sull'avanpaese adriatico e sugli stessi sedimenti dell'avanfossa tardo miocenica (cannibalizzazione dell'avanfossa).

Dal punto di vista geomorfologico laddove prevalgono litotipi marnosi o marnoso calcarei (Schlier e Bisciario) la morfologia è spesso arrotondata, dolce e gibbosa; le quote medie e l'energia del rilievo sono generalmente modeste. Per contro ove prevalgono i litotipi calcarei o calcareo marnosi (Maiolica e Scaglia) i versanti sono spesso ripidi ed il territorio è contrassegnato da molti affioramenti rocciosi naturali o di origine antropica.

Le aree a prevalenza calcarea si contraddistinguono per una maggiore energia di rilievo e per la presenza di alcuni fenomeni carsici. Normalmente, nella maggior parte delle litologie presenti, si tratta di un carsismo poco evoluto e pervasivo, che si manifesta con forme quali campi carreggiati, piccole vaschette ed inghiottitoi individuati, localmente, in prossimità dell'abitato di Pale (dove sono cartografati anche depositi di travertino) e dell'altopiano di Colfiorito. Non mancano comunque locali evidenze di cavità carsiche anche di grandi dimensioni. In particolare nella zona di Pale in seno al Calcarea Massiccio i rilievi di campagna hanno portato all'individuazione di alcune grotte di dimensioni anche importanti fra cui, va ricordata, la “grotta degli innamorati” o dell’”Abbadessa”, dotata di molteplici ambienti fra loro comunicanti con altezze delle volte anche nell'ordine di 8 – 9 m; il tutto in prossimità, nel medesimo litotipo ed a quote compatibili con lo scavo della galleria Pale. I sondaggi ed alcune indagini sismiche specificamente condotte hanno successivamente confermato la possibile presenza di cavità carsiche nel Calcarea Massiccio all'interno della galleria Pale.

Lungo il sublotto sono cartografati altresì accumuli di frana. Si tratta essenzialmente del prodotto di frane di rotolamento o scivolamento planare in roccia e, in seno ai materiali prevalentemente marnosi o marnoso argillosi, colamenti ed accumuli di antica frana (paleofrane), del tipo per scivolamento planare o rototraslazionale su superficie di neoformazione. Esistono inoltre zone in erosione e deposizione fluviale, superfici di spianamento, morfologie controllate da superfici di faglia, conoidi di detrito e di deiezione.

Dal punto di vista idrogeologico va segnalata la presenza di una falda acquifera contenuta nei depositi calcarei e calcareo marnosi permeabili per fratturazione. Essa emerge in corrispondenza delle numerose sorgenti censite ed in particolare lungo il corso dei fiumi Menotre e Chienti. In tale contesto è stato ricostruito il livello della falda in corrispondenza dell'intero tracciato stradale, con particolare riguardo per i tratti in sotterraneo, mediante misurazione periodiche sui numerosi piezometri messi in opera nel corso dei sondaggi effettuati sia in sede di progettazione preliminare che definitiva.

Con riferimento alle formazioni sopra descritte gli acquiferi di maggior potenzialità si rinvenivano nel Calcere Massiccio, nella Formazione della Corniola, della Maiolica e della Scaglia rosata. Il censimento sorgenti effettuato nell'intorno dell'asse stradale ha confermato come la stragrande maggioranza di esse emerga proprio dai termini della Maiolica o Scaglia; si tratta, nella maggior parte dei casi, di emergenze diffuse, con distanze dall'asse stradale variabili da alcuni Km sino a valori minimi nell'ordine di poche centinaia di metri, con portate normalmente modeste ($<0,1$ l/sec), forte escursione stagionale ed acque a modesto contenuto di sali, il tutto a conferma di circuiti idrogeologici brevi, bacini modesti e tempi di permanenza nel sottosuolo relativamente contenuti. Non mancano comunque sorgenti che testimoniano circuiti più ampi e portate anche >100 l/sec (ad esempio Capovena ed Alzabove in prossimità di Rasiglia).

Dalle analisi effettuate in corrispondenza delle singole gallerie si evince come la falda sia, in un buon numero di casi, posta a quote pari o inferiori rispetto alle opere, al riparo quindi da possibili interferenze. Per tutti i casi in cui la falda si trova a quote superiori rispetto agli scavi, la presenza di battenti idrici generalmente modesti ha permesso, nell'attraversamento di materiali calcarei permeabili per fratturazione, l'applicazione di opportune sezioni tipo impermeabilizzate.

Infine dal punto di vista sismico il tracciato si snoda attraverso i territori comunali di Foligno (PG), Muccia e Pievebovigliana (MC). Mentre Pievebovigliana è classificata in 2° categoria, Foligno e Muccia sono inseriti in zona 1 secondo l'ordinanza PCM 3274 del 20/03/03, come sarà meglio illustrato nel seguito.

13. ASPETTI GEOTECNICI

Per ciò che riguarda gli aspetti geotecnici, nella tratta iniziale del lotto (fino alla progr. 3+700 circa) il tracciato non presenta forti dislivelli e si snoda in una situazione caratterizzata dalla presenza di una copertura costituita da materiale alluvionale, colluvione o detrito di falda, di spessori da limitato a medio (10÷20 m), seguito in profondità dalle formazioni lapidee di base (“scaglia cinerea”; “Schiller”; “Bisciario” ecc). I terreni superiori hanno granulometria prevalentemente grossolana (ghiaie e ghiaie sabbie) frequentemente accompagnata da una subordinata matrice fine e da isolati livelli prevalentemente coesivi.

Le caratteristiche meccaniche dei primi sono elevate sia in termini di resistenza a taglio che di rigidità; per i secondi le proprietà sono (da medie a) buone, nel senso che non sono stati su alcuna verticale rilevati orizzonti normalmente consolidati (teneri) o solo leggermente sovraconsolidati (media consistenza).

La roccia di base presenta sistematicamente in superficie un livello alterato (“cappellaccio”) all’interno del quale si nota una diffusa fessurazione e bassi livelli dell’indice RQD (Rock Quality Designation); la parte più profonda del deposito fornisce generalmente elevati valori di RQD ed elevate resistenze a compressione dei singoli provini.

Nella situazione di cui sopra si è fatto ricorso per le opere d’arte principale all’adozione di pali trivellati di grande diametro solitamente intestati nel substrato lapideo.

Per i rilevati e le opere d’arte secondarie di attraversamento ci si dovranno attendere cedimenti relativamente limitati e di rapido esaurimento dal completamento della costruzione.

Attraverso la caratterizzazione di dettaglio sia geometrica che geotecnica degli strati della copertura, sia granulari che coesivi, si è giunti alla definizione dei profili di calcolo da adottarsi per il dimensionamento di tutte le opere d’interesse; analogo procedimento è stato seguito per le formazioni di base.

Dalla progressiva 3+700 circa alla 7+190 la situazione morfologica cambia radicalmente poiché il tracciato incontra una serie di rilievi in corrispondenza dei quali le formazioni di base risultano direttamente affioranti. In corrispondenza delle “incisioni” scavate con viadotti si riscontra la presenza di limitati spessori (3÷5m) di detrito di falda, in genere seguito da un primo livello lapideo costituito da materiale completamente alterato e pedogenizzato, seguito dal “cappellaccio” e dalla roccia “integra”, come sopra.

Le soluzioni proposte per le fondazioni dei viadotti sono di appoggio diretto nello strato di base o tramite plinti portati all’interno del “cappellaccio” o a mezzo di pozzi cui si è dovuti ricorrere quando più rilevante risultava lo spessore della copertura.

Essendo in generale il livello di falda molto depresso, in nessun caso gli scavi di cui sopra interferiscono con essa.

La parte terminale del lotto, a partire dalla progressiva 28+920 circa fino a quella finale della tratta, ha caratteristiche morfologiche e geotecniche molto simili a quelle appena descritte, con roccia affiorante in corrispondenza dei rilievi e deboli spessori di terreni granulari in copertura, in corrispondenza degli avvallamenti scavalcati da viadotti. Nel tratto terminale (esempio: zona viadotto Muccia) le incisioni si allargano con un crescente spessore dei depositi non lapidei di copertura (fino a 15÷20 m), sempre caratterizzati dalla prevalenza della componente a granulometria grossolana (ghiaie, ghiaie e sabbie, talvolta a matrice limosa).

Anche in questo caso, per tutte le opere principali si è provveduto a definire dei profili geotecnici di riferimento con dettagliata determinazione della geometria e dei parametri geotecnici di calcolo di ciascuno strato.

14. SISMICITA'

Generalità

Il progetto è stato redatto dal C.G. applicando il nuovo Testo Unitario per le costruzioni ed attribuendo inizialmente all'infrastruttura in oggetto la classe di importanza 1 e, successivamente, a seguito della disposizione del Committente (nota prot. n° 1332 del 23.12.2006), adottando la classe 2.

Ciò significa prevedere una vita utile della struttura pari a 100 anni anziché 50, con conseguente aumento del periodo di ritorno per la valutazione delle azioni accidentali (sisma, neve, vento, ecc.)

Come indicato dalla normativa al punto 3.2.2.3, allo scopo di mitigare gli effetti dell'adozione della classe 2 ai fini sismici, si è proceduto ad una determinazione puntuale dei valori di accelerazione sismica al suolo, facendo riferimento alle mappe di pericolosità sismica redatte da INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), nonché alla suddivisione in sottozone caratterizzate da valori di a_g intermedi ed intervallati da valori non minori di 0,025.

Pertanto, tenuto conto della recente Ordinanza P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006 che fornisce i criteri per la suddivisione in sottozone, si è fatto ricorso alle mappe di pericolosità sismica della Protezione Civile con riferimento alla probabilità di superamento del 5% in 50 anni, corrispondente alla Classe 2 di interesse. Utilizzando i valori relativi al 50mo percentile e adot-

tando intervalli di suddivisione pari a 0,025g, nelle aree di interesse si perviene ai seguenti risultati:

- zona sismica 1: accelerazione di riferimento 0,35g, uguale a quella utilizzata in classe 1;
- zona sismica 2 (limitata al breve tratto terminale di attacco al vicino subplotto 1.1): l'accelerazione di riferimento in classe 2 risulta pari a 0.275g, con aumento del 10% rispetto al valore 0.25g in classe 1. Sono state aggiornate di conseguenza le parti interessate del progetto.

La carta dei valori puntuali di a_{max} (accelerazione massima su suolo rigido con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni, valore standard relativo al 50mo percentile) per l'area in esame, redatta sulla base della griglia di valori disponibili nel sito di INGV: <http://esse1.mi.ingv.it/>, è allegata al presente progetto.

L'individuazione dell'effettiva categoria di suolo su cui sorge l'opera (categoria A, B, C, D o E) è stata basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio (V_S), ovvero sul numero medio di colpi N_{SPT} ottenuti in una prova penetrometrica dinamica, ovvero sulla coesione non drenata media (c_u).

La procedura porta alla definizione di un coefficiente amplificativo S che, a seconda della categoria del suolo di fondazione, assume valori compresi tra 1 e 1,35.

Individuazione della zona sismica

Il tracciato del subplotto 1.2 interessa nel primo tratto, “Foligno-Valmenotre”, un territorio della regione Umbria ricadente in zona 1 ai sensi della classificazione sismica dei comuni italiani di cui all'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20/3/2003 (Allegato 1), recepita dalla Regione Umbria con Deliberazione della Giunta Regionale n. 852 del 18/6/2003.

Il secondo tratto dello stesso subplotto 1.2, “Galleria Muccia-Pontelatrave” ricade invece nella regione Marche, in un territorio classificato anch'esso in zona 1, ad eccezione del tratto compreso in comune di Pievebovigliana, ricadente in zona 2 ai sensi della citata classificazione sismica di cui all'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20/3/2003 (Allegato 1), recepita dalla Regione Marche con Deliberazione della Giunta Regionale n. 1046 del 29/7/2003.

Individuazione della categoria del suolo di fondazione

Per la definizione della categoria del suolo di fondazione si è fatto uso sia delle prove Down Hole disponibili (rif. sondaggio SD16, relativa al deposito pluvio-colluviale su cui poggia il viadotto San Lorenzo II), sia di prove SPT e sezioni tomografiche realizzate lungo il tracciato in corrispondenza delle principali opere d'arte. Si è pervenuti alla caratterizzazione seguente (la riga grigia individua i due distinti tratti del subplotto 1.2, separati dall'interposizione del subplotto 2.1):

CARREGGIATA NORD

OPERA	PARTE D'OPERA	ZONA SISMICA	CATEGORIA SUOLO
Viadotto Fosso Renaro		1	B
Viadotto San Lorenzo I		1	B
Galleria artificiale San Lorenzo I		1	A
Galleria artificiale San Lorenzo II		1	A
Viadotto San Lorenzo II	viadotto	1	C
	spalla ovest	1	C
	spalla est	1	E
Galleria naturale Belfiore	imbocco ovest	1	E
	imbocco est	1	A
Viadotto Pale		1	A
Galleria naturale Pale	imbocco ovest	1	A
	imbocco est	1	A
Viadotto Scopoli	viadotto		C
	spalla ovest		A
	spalla est		E
Galleria naturale Muccia	imbocco ovest	1	A
	imbocco est	1	A
Viadotto Chienti II	viadotto	1	E
	spalla ovest	1	A
	spalla est	1	E
Galleria naturale Costafiore	imbocco ovest	1	E
	imbocco est	1	E
Galleria naturale	imbocco ovest	1	E

Maddalena	imbocco est	1	E
Viadotto Muccia		1	C
Galleria naturale La Rocchetta	imbocco ovest	1	E
	imbocco est	2	E

CARREGGIATA SUD

OPERA	PARTE D'OPERA	ZONA SISMICA	CATEGORIA SUOLO
Viadotto Uppello		1	B
Galleria artificiale Collepersico		1	A
Viadotto San Lorenzo I		1	B
Galleria artificiale San Lorenzo I		1	A
Galleria artificiale San Lorenzo II		1	A
Viadotto San Lorenzo II	viadotto	1	C
	spalla ovest	1	C
	spalla est	1	E
Galleria naturale Belfiore	imbocco ovest	1	E
	imbocco est	1	A
Viadotto Pale		1	A
Galleria naturale Pale	imbocco ovest	1	A
	imbocco est	1	A
Viadotto Scopoli	viadotto		C
	spalla ovest		A
	spalla est		E
Galleria artificiale Chienti		1	E
Galleria naturale Muccia	imbocco ovest	1	A
	imbocco est	1	A
Viadotto Chienti II	viadotto	1	E
	spalla ovest	1	A
	spalla est	1	E
Galleria naturale Costafiore	imbocco ovest	1	E
	imbocco est	1	E
Galleria naturale Maddalena	imbocco est	1	E
	imbocco ovest	1	E

Viadotto Muccia		1	C
Galleria artificiale Brodella	imbocco ovest	1	E
	imbocco est	1	E
Galleria naturale La Rocchetta	imbocco ovest	1	E
	imbocco est	2	C

Si osserva che l’imbocco est della galleria La Rocchetta (come gran parte della stessa galleria) ricade in zona 2, essendo ubicato in località Pontelatrive in comune di Pievebovigliana, così classificato secondo la citata zonizzazione sismica; viceversa l’imbocco ovest della stessa galleria ricade in zona 1. In particolare, il tratto in zona 1 è lungo, a partire dall’imbocco ovest, circa 190 m per il fornice nord e 230 m per il fornice sud.

15. INTERVENTI DI INSERIMENTO E MITIGAZIONE AMBIENTALE

La necessità di mitigare e inserire correttamente nel paesaggio locale le nuove tratte del Quadrilatero Umbria-Marche è stata impostata sul mantenimento del corredo floristico locale (in particolare arboreo e arbustivo), arricchendolo ove necessario con elementi fortemente legati alle specifiche ecologiche e microclimatiche.

Gli ambiti attraversati dalle opere che compongono i sublotti 1.2 e 2.1 di cui al presente progetto presentano caratteri di eterogeneità, poiché contengono formazioni forestali delle quote medio-alte dell’Appennino centrale - tratta Volperino-Pontelatrive, con altitudine media di circa 700-750 m s.l.m., con presenza di microclimi fresco-umidi nelle vallette con esposizione a nord - e di situazioni più xero-termofile, nei versanti esposti a meridione e alle quote più basse (dintorni di Foligno).

In corrispondenza dei tratti iniziali e finali dei due sublotti sono presenti formazioni vegetali deteriorate o ruderali, tipiche delle pianure antropizzate.

L’intervento di inserimento paesaggistico in primo luogo, e secondariamente le esigenze di mitigazione di situazioni specifiche, hanno condotto alla elaborazione di alcune tipologie base relative a punti notevoli dei tracciati, che sono stati applicati nell’intero progetto, con le dovute modifiche dei parametri compositivi. Le tipologie individuate sono le seguenti:

- tratti a mezza costa;
- tratti in prossimità dei centri urbani;
- tratti in pianura;
- imbocchi e sbocchi delle gallerie;

- viadotti.

Un breve glossario serve a chiarire i significati attribuiti alla terminologia essenziale utilizzata.

Per interventi di **ripristino** si intendono quelli localizzati all'interno di aree non direttamente interferite dal progetto: si tratta in particolare di aree per lo stoccaggio dei materiali, piste di cantiere e le stesse aree destinate alle lavorazioni. In queste zone è stato previsto un intervento finalizzato alla restituzione dei luoghi alle condizioni iniziali, se l'uso attuale è di tipo agricolo, o all'impianto di specie arboree e arbustive per le aree intercluse, con "ripristino" naturale della vegetazione autoctona, eliminando le eventuali cause di degrado ambientale preesistenti o determinate dalla realizzazione dell'opera.

Gli interventi di **inserimento** sono previsti nelle zone in cui il progetto interferisce in modo sostanziale e permanente con il paesaggio, ad esempio in prossimità degli imbocchi delle gallerie, nelle zone in trincea ed in rilevato, modificandone significativamente la conformazione morfologica. Sono finalizzati al miglioramento delle condizioni antecedenti l'intervento, mediante l'impianto di vegetazione arborea e arbustiva, utile a creare uno schermo visivo per mascherare o un "cannocchiale" per evidenziare e attirare l'attenzione su emergenze ambientali, paesaggistiche, monumentali e storiche.

Con tali interventi si formeranno i nuclei costitutivi di più ampi ecosistemi ad integrazione e completamento di quelli esistenti. Tale risultato verrà ottenuto con piccoli interventi localizzati, inizialmente utilizzando specie ed associazioni vegetali pioniere, capaci di favorire il raggiungimento autonomo di livelli di complessità strutturale e di diversità biologica più elevati.

Tali interventi sono previsti soprattutto dove la conformazione stessa dei luoghi rende inevitabili interventi onerosi per l'ambiente (sbancamenti, creazione di rilevati, scavo in roccia), non permettendo tracciati alternativi meno impattanti.

In una seconda fase sono state analizzate le possibili migliorie nell'inserimento delle opere di mitigazione (barriere acustiche in particolare), sostituendo o integrando ove possibile le barriere stesse con dune in terra, modellate opportunamente e rinverdate per eliminare l'effetto "muro" creato dalle barriere metalliche.

Infine sono state affrontate le problematiche legate alla frammentazione del territorio causata dalla nuova infrastruttura, cercando di ricreare le condizioni iniziali di "permeabilità biologica" garantendo la presenza di passaggi faunistici naturali o artificiali almeno ogni 1500 m. I passaggi sono stati individuati in corrispondenza dei numerosi viadotti previsti in progetto, ma soprattutto nei corridoi naturali più ampi presenti sopra le gallerie artificiali e naturali.

Tra gli interventi previsti sono presenti tipologie diverse in funzione delle quote e delle esposizioni dei tratti di infrastruttura realizzati all'esterno (tra una galleria e la successiva).

Inserimenti e mitigazioni comprendono quindi:

- dune vegetate con specie diverse in funzione della funzione e delle condizioni stagionali, sia all'esterno dell'opera che negli spazi tra le due carreggiate (vegetazione preferenzialmente sempreverde);
- imbocchi e sbocchi di gallerie (arbusti a consolidamento delle scarpate denudate e miscuglio di specie erbacee con apparati radicali fittonanti e superficiali);
- consolidamento di versanti acclivi denudati (impiego talee di salici - *S. purpurea* e *S. triandra* - e olivello spinoso);
- mascheramento di cantieri operativi (impianto di siepi fitte con specie sempreverdi e spoglianti perimetralmente ai cantieri, da effettuarsi prima dell'avvio dei lavori);
- realizzazione di filari alberati lungo la viabilità esistente e lungo alcuni brevi tratti di quella in progetto (le specie sono state scelte in funzione di eventuali preesistenze e delle condizioni paesaggistiche e microclimatiche locali; anche questo tipo di interventi possono essere effettuati fin dall'avvio dei lavori, nei tratti di viabilità esistente che non subirà modifiche geometriche);
- inserimento e mitigazione delle aree spartitraffico, caratterizzate da ampiezze anche di parecchi metri (con specie arbustive aventi carattere ornamentale, disposte ad intervalli di 20-30 m, per creare una variazione cromatica piacevole, oltre che uno schermo ai fari delle auto).

Mitigazione acustica

Scopo dello studio acustico è l'ottimizzazione degli interventi di mitigazione previsti nello Studio di Impatto Ambientale, componenti "rumore", relativo al progetto preliminare del sublotto in oggetto.

L'analisi dello stato acustico attuale dell'ambiente ha prefigurato una caratterizzazione dei livelli sonori ante operam all'interno di un corridoio di interferenza acustica di ampiezza di 100 m per lato a partire dal ciglio esterno della sede stradale. All'uopo si è resa necessaria un'apposita campagna di rilievi fonometrici i cui risultati sono riportati nella specifica relazione tecnica allegata al presente progetto definitivo.

La metodologia adottata per la valutazione della rumorosità di progetto nelle condizioni più critiche è consistita nella creazione di un modello acustico tridimensionale, tarato sui risultati della campagna di misure fonometriche. Per ottenere tale scopo è stato ricostruito il sito di interesse mediante un software di simulazione specifico denominato Mithra che permette la costruzione di un modello virtuale di territorio, l'introduzione delle sorgenti sonore da analizzare e la creazione di mappe acustiche di rumorosità.

Per verificare la compatibilità del progetto con gli standard, lo studio ha tenuto conto delle leggi nazionali vigenti. Il confronto tra i livelli di rumore previsti ed i valori limite di immis-

sione di rumore ha permesso di determinare gli obiettivi di mitigazione acustica, sui quali sono stati ridimensionati gli eventuali interventi di mitigazione. La verifica è stata compiuta per i primi due piani degli edifici, prendendo a riferimento il più sfavorito per la definizione delle opere di bonifica. Il lavoro è stato condotto in modo tale da cercare di eliminare le criticità acustiche secondo il criterio dettato dall'art. 5 del D.M. Ambiente 29/11/2000, il quale prescrive che gli interventi strutturali finalizzati all'attività di risanamento devono essere effettuati secondo la seguente scala di priorità:

- direttamente sulla sorgente rumorosa
- lungo la via di propagazione del rumore dalla sorgente al ricettore
- direttamente sul ricettore.

Le barriere antirumore utilizzate per limitare le immissioni sonore della nuova infrastruttura in progetto sono di forma bidimensionale e dotate di elemento diffrattore sommitale. Tali barriere possono raggiungere altezze comprese tra i 2 ed i 4,5 m e lunghezze variabili in funzione dell'estensione dell'area da proteggere. In casi particolari (viadotti esistenti Renaro e Uppello), è stato necessario utilizzare barriere acustiche di tipo "integrato", ovvero combinate con la barriera di sicurezza, dati gli esigui spazi disponibili.

Ove ritenuto necessario per motivi paesaggistici e di inserimento ambientale, in alternativa alle barriere acustiche, è possibile ricorrere a terrapieni realizzati in modo da creare terrazze degradanti e rinverdite.

La resa acustica delle barriere è funzione della geometria sorgente-ricettore e della composizione spettrale del rumore che si deve attenuare. In linea di massima, con l'utilizzo delle barriere bidimensionali si possono ottenere attenuazioni acustiche variabili da 7 a 14 dB(A). Per raggiungere i risultati ottenuti con le simulazioni, le barriere antirumore dovranno essere dotate di elemento diffrattore sommitale di diametro pari a 600 mm.