



**VARIANTE ALLA SRT 429 DI VAL D'ELSA LOTTO 3  
 TRATTO CERTALDO - CASTELFIORENTINO  
 TRA LO SVINCOLO CERTALDO OVEST E LO SVINCOLO  
 CON LA S.P. VOLTERRANA**



CARTELLA

**VP - Progetto stradale Viabilità Principale**

OGGETTO DELL'ELABORATO

**RELAZIONE TECNICA STRADALE**

**RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO**

Ing. Antonio DE CRESCENZO

**C.D.P. COORDINAMENTO DIREZIONE DI PROGETTO**

Ing. Alessandro SILVIETTI  
 Ing. Iacopo MAZZONI

**SUPPORTO AL RUP**

Dott. Aldo PARISI

**COLLABORATORI**

(In ordine alfabetico)

Geom. Federico ANZUINI  
 Dis. Francesca BELLINI  
 Geom. Alessandro INNOCENTI  
 Dis. Edi Antonella MATTIOLI  
 Dis. Ligia del Pilar MONTALVO

**IL PROGETTISTA DELL'ATTIVITA' SPECIALISTICA**

Ing. Luciano DELLA LENA

**ATTIVITA' SPECIALISTICHE**

(In ordine dell'elenco elaborati)



**GEOLOGIA E GEOTECNICA**  
 IDROGEO Engineering & Consulting



**IDROLOGIA E IDRAULICA**  
 DA. SA. Ingegneria s.r.l.



**RILIEVI PLANOALTIMETRICI- PIANO PARTICELLARE**  
 GDEC s.r.l.



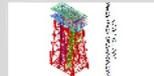
**PROGETTO STRADALE**  
 DLA Associati



**PROGETTO STRUTTURE - OPERE D'ARTE**  
 Studio Tecnico Ing. Salvatore Giacomo Morano



**MITIGAZIONE AMBIENTALE E OPERE A VERDE**  
 ALEPH



**PIANO DI SICUREZZA E COORDINAMENTO (PSC)**  
 Studio Tecnico Ing. Claudio Consorti

VERIFICA DI ASSOGGETTABILITA' A V. I.A.  
 TECNOCREO Società di Ingegneria



PROGETTO DEFINITIVO REDATTO DA



Luglio 2013

REVISIONATO  
 15.39 - 27/07/2018

FASE	CARTELLA	ELABORATO	PROGRESS	REV	NOME FILE e DATA DI AGGIORNAMENTO (yyymmdd)	SCALA
D	VP	01	01	0	D_VP0101_0RelTecnicaStradale04_180710	
NOTE DI STAMPA: A4			P.R.S INTERVENTO: ID 832		C.U.P	
0	Luglio 2018	Emissione			DLA	Della Lena Silvietti
REVISIONE	DATA	MOTIVAZIONE			REDATTO	VERIFICATO C.D.P.

Firma

Il presente documento e le informazioni in esso contenute sono di proprietà della Regione Toscana e non possono essere riprodotte o comunicate a terzi senza preventiva autorizzazione scritta

REGIONE TOSCANA



SETTORE PROGETTAZIONE e REALIZZAZIONE VIABILITA' REGIONALE – FIRENZE – PRATO - PISTOIA  
Via Benedetto Cairoli, 25 – 59100 - Prato

**Variante alla SRT 429  
Di Val d' Elsa – Lotto 3  
tra lo svincolo Certaldo Ovest  
e lo Svincolo con la S.P. Voterrana**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE TECNICA  
STRADALE**

1	PRIMA EMISSIONE	18 GIUGNO 2018

REVISIONE	CONTENUTO DELLA MODIFICA	DATA
-----------	--------------------------	------

Il Progettista



# INDICE

1. PREMESSA
  - 1.1 Premessa al Progetto Esecutivo
  - 1.2 Note nella redazione del Progetto Esecutivo
2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO
  - 2.1 Il tracciato di progetto
  - 2.2 Caratteristiche generali dell' opera
  - 2.3 Caratteristiche del corpo stradale
  - 2.4 Le opere d' arte maggiori
  - 2.5 Le opere d' arte minori
3. VERIFICHE DEL TRACCIATO SECONDO IL D.M. 05/11/2001
  - 3.1 Generalità
  - 3.2 Andamento planimetrico dell' asse stradale
  - 3.3 Verifiche di visibilità
  - 3.4 Andamento altimetrico dell' asse stradale
4. CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE
  - 4.1 Generalità
  - 4.2 Analisi del traffico e dei carichi
  - 4.3 Analisi tenso-deformativa della pavimentazione
    - 4.3.1 Specifiche
    - 4.3.2 Analisi
    - 4.3.3 Verifica a fatica

APPENDICE 1: Tabelle riepilogative delle verifiche effettuate su ogni elemento geometrico costituente il tracciato

APPENDICE 2: Tabelle della analisi tenso-deformativa della pavimentazione

## 1. PREMESSA

### 1.1 Premessa al Progetto Esecutivo

Il presente Progetto Esecutivo sviluppa il Progetto Definitivo Technital, approvato dalla Conferenza dei Servizi del 10.09.2013, che a sua volta fu redatto a partire dal tracciato indicato nel Progetto di Massima redatto nel 1994 per conto dell' ANAS e della C.C.I.A.A. di Firenze. Dal punto di vista stradale il Progetto Esecutivo ricalca quasi pedissequamente il Progetto Definitivo, salvo piccoli aspetti marginali che saranno descritti nel seguito. Un elemento importante da sottolineare è dato dal fatto che la Regione Toscana ha deciso di effettuare un nuovo rilievo del terreno; pertanto il progetto, che è identico dal punto di vista plano altimetrico (salvo gli inevitabili scostamenti per l' aver utilizzato software diversi), è posizionato su di un nuovo e diverso modello matematico del terreno. Questo ovviamente comporterà valori diversi delle quantità di computo metrico.

Per quanto sopra, la presente relazione segue l' impostazione di quella del Progetto Definitivo ed in essa vengono quindi esaminate le caratteristiche geometriche del tracciato del Lotto 3 del collegamento tra il raccordo autostradale Firenze-Siena (Poggibonsi) e la S.G.C. Firenze-Pisa-Livorno (Empoli), il cui itinerario si svolge, in linea di massima, lungo l' attuale SRT 429 da Poggibonsi ad Empoli, attraverso Certaldo e Castelfiorentino.

Il lotto 3 in esame costituisce un tratto intermedio dell' itinerario compreso tra i seguenti tratti già realizzati, o in fase di ultimazione:

- a Sud il lotto 2 (Variante di Certaldo) che termina in corrispondenza dello svincolo di Certaldo Ovest;
- a Nord i lotti 4-5-6 (tratto Castelfiorentino - Empoli) che hanno origine in corrispondenza dello svincolo sulla SP Volterrana.

### 1.2 Note nella redazione del Progetto Esecutivo

Le note che seguono hanno accompagnato la redazione e la trasmissione degli elaborati del Progetto Esecutivo. Le novità introdotte sono modestissime. In sostanza non ci sono novità sostanziali dal Progetto Definitivo al Progetto Esecutivo.

#### Nota 1

La progettazione stradale a livello Esecutivo ha messo in opera quanto deciso nell' incontro del 28.02.2018, vista la coerenza del profilo del terreno rilevato da GDEC con quello del Progetto Definitivo Technital. Cioè di riconfermare le caratteristiche plano-altimetriche di quest' ultimo, anche in considerazione del fatto che questo è stato approvato in sede di Conferenza dei Servizi.

Come detto, il terreno è stato modellato con il programma Strato 17.5 di Namirial a partire dal rilievo di GDEC; quindi la geometria plano altimetrica è stata inputata a partire dai valori risultanti dai files pdf (ultima revisione) del Progetto Definitivo Technital; infine il programma ha elaborato il progetto, con il calcolo di rettifiche, curve a raggio costante ed a raggio variabile. Le differenze riscontrate sono modeste, dal momento che la lunghezza dell' Asse principale passa da 3.921,97 m a 3.921,93 m (4 cm in meno su quasi 4 Km). Queste modeste differenze sono dovute alle diverse approssimazioni dei programmi di calcolo utilizzati.

Si è scelto di mantenere immutata la numerazione delle sezioni trasversali e la loro quota progressiva; nonostante questo, alcune sezioni presentano una progressiva che differisce di qualche centimetro rispetto al Progetto Definitivo, ma questo risulta inevitabile con la nuova elaborazione ed inoltre è ininfluenza ai fini del progetto. Sono state inserite alcune nuove sezioni nei punti di tangenza dell' Asse principale, che ne era sprovvisto. In questi casi la numerazione prosegue oltre la 174, ultima sezione del Progetto Definitivo. Le nuove sezioni denominate: 185, 186, 187, 188 e 189, sono pertanto facilmente individuabili.

Nel Progetto Definitivo il terreno non era modellato correttamente tra le sez. 1 e 2. Nel Progetto Esecutivo il terreno è corretto. Riguardo la curva del Vertice 3, di 7000 m di raggio e 200 m di sviluppo, il Progetto Definitivo non prevede raccordi a raggio variabile, né la sopraelevazione dei cigli. Secondo gli scriventi progettisti, nonostante l'ampiezza del raggio, è opportuno rialzare comunque il ciglio esterno (dx) del 2,5 %. Quindi così è stato fatto nel Progetto Esecutivo.

## **Nota 2**

Le sezioni tipo sono modificate per quanto riguarda la regimazione idraulica ed è stata eliminata la zanella in calcestruzzo. Di questo argomento tratterà più diffusamente la relazione specialistica.

Per quanto riguarda la Strada Comunale delle Vecchiarelle, si è fatto notare che il sottopasso alla Sez. 140, per avere l'altezza necessaria al transito (nel Progetto Definitivo si indica 3,50 m), necessita di uno scorrimento molto al di sotto del piano di campagna. Questo sottopasso si troverebbe in prossimità della cassa d'espansione in progetto e pertanto sarebbe a rischio di allagamento. Per tale motivo si è deciso di eliminare il sottopasso e prolungare il percorso di questa strada di servizio, fino a passare sotto la campata laterale del Ponte sull'Elsa. Questa ed altre strade di servizio, sono parallele al piede dei rilevati dell'Asse Principale e adagiate sul piano di campagna, senza scavi e riporti di rilievo. Per questo motivo è stato effettuato un tracciamento planimetrico ad una distanza quotata dal rilevato; analogamente le quote altimetriche si riferiscono a quelle del piede del rilevato che corre parallelamente e comunque sono progettati i profili longitudinali.

## **Nota 3**

Diagramma Visuali Libere. La geometria plano-altimetrica del presente Progetto Esecutivo è, come ricordato precedentemente, identica a quella del Progetto Definitivo approvato; pertanto si tratta di verificare le visuali libere, senza possibilità di fare scelte progettuali. La visuale libera per l'arresto, alla velocità di progetto di 100 Km/h, è verificata su tutto l'asse principale, eccetto che alla progressiva 3.700 m, dove la "Visibilità Altimetrica" di 145,56 m è leggermente inferiore alla "Distanza di Arresto" di 164,08 m; questo si ritiene ammissibile per il fatto che ci si trova in prossimità dello Svincolo con la S.P. Volterrana e pertanto in quel punto non sarà possibile tenere la suddetta velocità; anzi in quella zona la velocità sarà opportunamente limitata con apposita segnaletica. Non sono inseriti in progetto i "Diagramma Visuali Cambio Corsia" e "Diagramma Visuali Sorpasso", perché non verificati: su tutto il tracciato il sorpasso ed il cambio di corsia saranno vietati con doppia riga centrale.

## **Nota 4**

Nelle sezioni trasversali dell'Asse Principale (Tavole 6/14 e 7/14): sono state effettuate le modifiche indicate nella email del 18.05.2018 dell'Ufficio Tecnico della Regione, riguardo l'argine del Fiume Elsa (banca sulla quota della sommità argine esistente) ed il parallelismo con la ferrovia Empoli-Siena; in queste sezioni è stato inserito il confine catastale, la Strada di Servizio C (che è stata modificata) e le tubazioni indicate.

## **Nota 5**

Rispetto al Progetto Definitivo è stata disegnata una nuova tavola: "Sezione Tipo – Legenda delle sezioni contabili". In questa sezione tipo, i colori corrispondono a quelli della tabella delle quantità che sta a fianco. Questa rappresentazione della sezione tipo e della tabella fa da legenda per tutte le sezioni contabili, secondo le modalità concordate con l'Ufficio Tecnico della regione Toscana.

Le planimetrie della segnaletica e delle barriere stradali sono state modificate leggermente; in particolare si segnala che nel Progetto Esecutivo, a differenza del Progetto Definitivo, in corrispondenza

delle due rotoarie sono progettate barriere di sicurezza di tipologia H2 W4 per aumentare la larghezza operativa, data la presenza di segnaletica verticale non cedevole.

#### **Nota 6**

La “Relazione tecnica stradale” è completata con l’ Appendice 1 (Tabelle geometria stradale) e con l’ Appendice 2 (Calcolo pavimentazione). Nelle stesse tavole delle barriere di sicurezza (E 09 VP 14 01-02-03-04) è disegnata anche la segnaletica orizzontale e verticale.

Rispetto al Progetto Definitivo, nel Progetto Esecutivo sono modificate leggermente le Strade di Servizio (E 10 VS 01 01-02-03-04) e sono stati inseriti i relativi profili longitudinali (E 10 VS 02 01-02-03-04).

## 2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

### 2.1 Il tracciato di progetto

Il tracciato del Lotto 3 della variante alla SR 429 ha origine in corrispondenza della rotatoria di Certaldo Ovest (inclusa nel presente lotto) e si sviluppa per circa 3900 m terminando sulla rotatoria della SP Volterrana a Castelfiorentino Est (inizio Lotto 4).

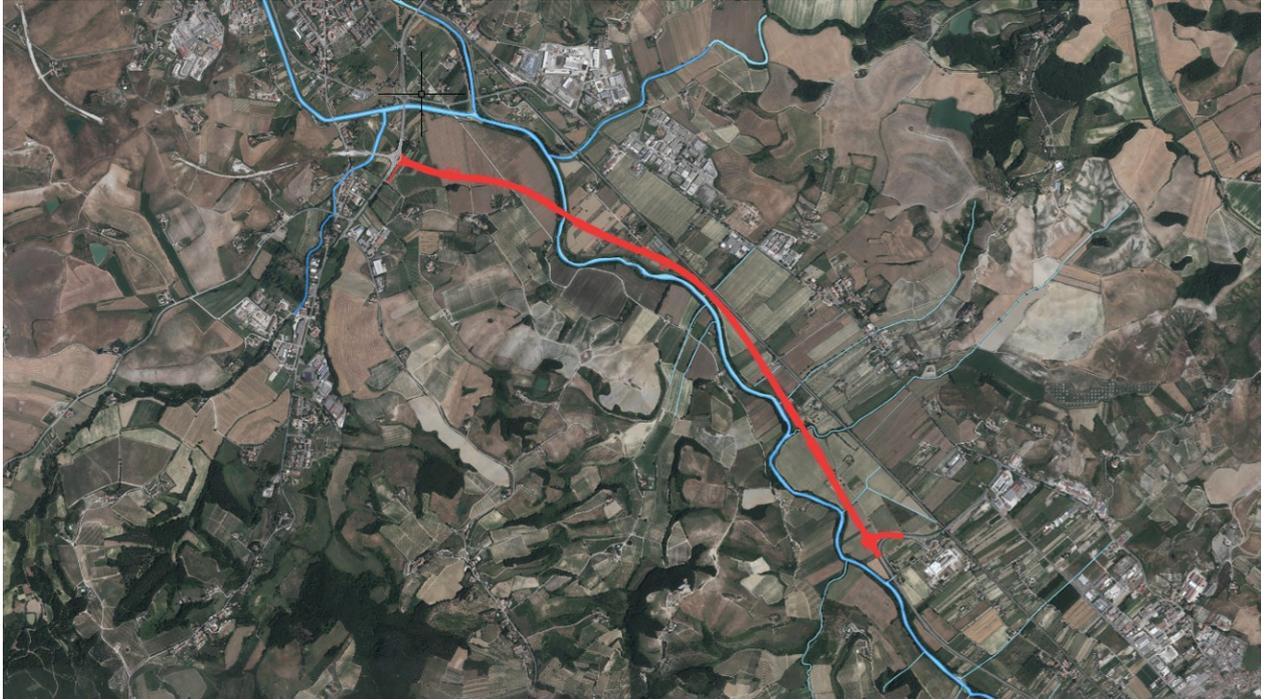


Fig. 2.1.1 – Corografia della SRT 429 Lotto 3

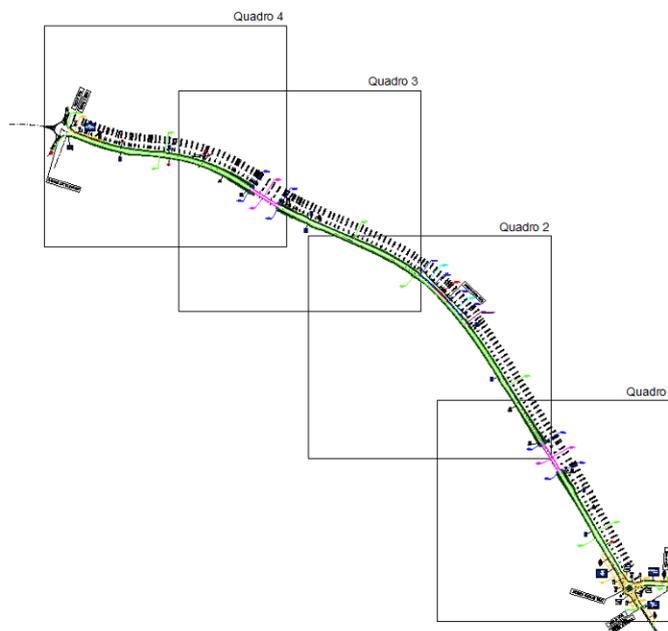


Fig. 2.1.2 – Tracciato della SRT 429 Lotto 3

Il tracciato si sviluppa essenzialmente in rilevato, con brevi tratti in viadotto in corrispondenza dei due attraversamenti fluviali presenti (Borro della Corniola e Fiume Elsa) e si svolge quasi interamente in sinistra idrografica dell' Elsa, costeggiando il fiume per poi attraversarlo nella parte terminale del tracciato.

In adiacenza al tracciato, nella zona compresa tra l' argine sinistro del Fiume Elsa e la rotonda sulla SP Volterrana, è prevista la futura realizzazione di una cassa di espansione, della quale il rilevato stradale rappresenterà il limite meridionale.

La cassa di espansione localizzata più a sud - e per questo nel proseguo denominata "cassa di espansione sud" - si stacca nella parte più a monte rispetto al corso del fiume in prossimità del toponimo Celda, fruendo delle maggiori quote topografiche fino al riferimento dei 62,00 - 64,00 m s.l.m., con perimetrazione lungo la sponda sinistra dell'Elsa, da realizzare laddove assente e/o da adeguare in altri tratti; la delimitazione a nord, in prossimità del toponimo "La Casetta" è invece data da una viabilità secondaria sopraelevata rispetto alla quota del terreno che costituisce un argine naturale comunque da adeguare fino alla quota di progetto, con completamento perimetrale corrispondente alle viabilità vicinali e/o poderali alle quote topografiche occorrenti, anch'esse da adeguare in quota secondo necessità e da correggere nello sviluppo planimetrico per la conservazione delle pre-esistenze abitative.

Nel dettaglio, il tracciato ha origine al termine del lotto 2 (km 5+175.62) ove era inizialmente prevista la realizzazione di uno svincolo a livelli sfalsati (Certaldo Ovest). In analogia agli svincoli dei lotti successivi, anche per questo svincolo è stata adottata una semplice rotonda (di raggio interno 25 m), prevedendo inoltre l' adeguamento del ramo di collegamento temporaneo con la viabilità locale, precedentemente realizzato, con la rinaturalizzazione del breve tratto dismesso.

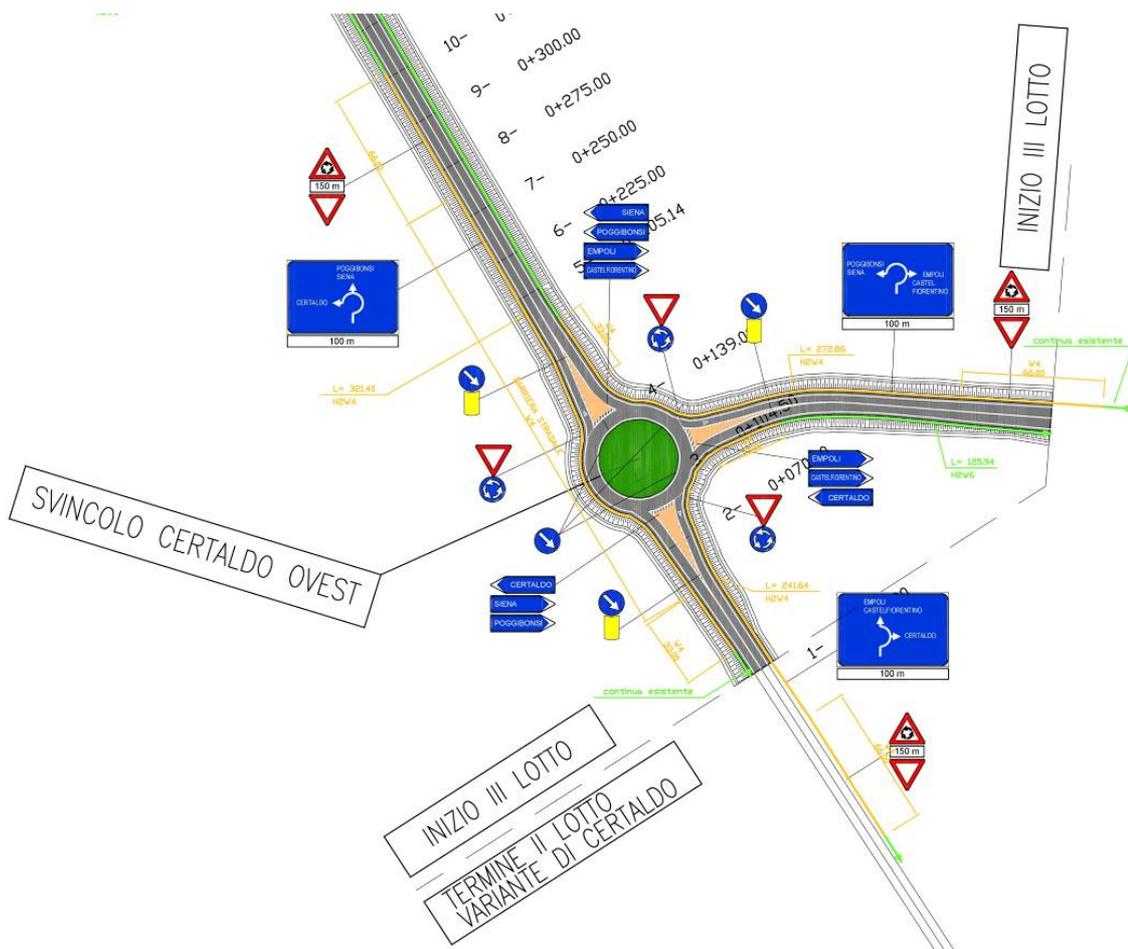


Fig. 2.1.2 – Rotatoria Certaldo Ovest

Il primo tratto di tracciato, di lunghezza 104.50 m, rappresenta il prolungamento del rettilineo finale del lotto 2; al suo termine è posizionato il centro della rotatoria. A seguire l'asse stradale subisce una leggera deviazione verso est, sino alla progr. 821.52, per permettere il passaggio in rilevato stradale ad una sufficiente distanza dall'esistente argine del fiume Elsa in corrispondenza dell'immissione del torrente denominato Borro della Corniola.

Alla progressiva 821.52 è ubicato il vertice della prima curva circolare sinistrorsa, di raggio 7000 m, che, dato il ridotto sviluppo dell'angolo con il rettilineo successivo, non presenta le clotoidi di raccordo ed invece si è prevista la rotazione della piattaforma stradale. In corrispondenza di tale curva avviene il superamento del già citato Borro della Corniola, con un viadotto a 5 campate di luce 30 m circa.

Proseguendo verso Nord il tracciato, dopo un rettilineo di sviluppo pari a 400 m circa, devia verso ovest per immettersi nello stretto corridoio compreso tra l'argine del Fiume Elsa e l'esistente ferrovia Firenze - Siena. In tale zona è prevista una policentrica sinistrorsa costituita da 2 curve circolari e da 3 clotoidi di raccordo. Nel dettaglio: la prima curva circolare, di raggio 2000 m, è preceduta da una clotoide di entrata avente parametro 740 e sviluppo 273,80 m; la seconda curva ha raggio 1015 m, tra i due elementi è presente una clotoide di continuità di parametro 675 e sviluppo 221,08 m, mentre la clotoide di uscita presenta un parametro di 450 ed uno sviluppo di 199,51 m.

Numerosi sono i vincoli da rispettare in questa parte del tracciato, quali l'argine sinistro del Fiume Elsa, la distanza dalla linea ferroviaria, la presenza a nord di un nucleo di abitazioni denominato Case Bucciarde, infine la presenza di una viabilità secondaria da mantenere in fregio alla ferrovia. Dato lo scarso spazio a disposizione, nella zona in adiacenza ai binari è prevista la realizzazione di un muro in terra rinforzata avente paramento inclinato a 70°, per ridurre il più possibile la zona occupata dal sedime della nuova arteria.

Successivamente l'asse stradale, passando a sud ovest delle Case Bucciarde, dopo un breve rettilineo di 154,55 m, subisce una deviazione verso est, costituita da una curva destrorsa di raggio 1490 m, con una clotoide in ingresso di parametro 530 e sviluppo 188,52 m ed una clotoide in uscita di parametro 498 e sviluppo 166,45 m. In uscita da tale curva avviene l'attraversamento del Fiume Elsa, mediante un ponte a 3 campate in acciaio e calcestruzzo. Proseguendo verso ovest il tracciato presenta un andamento sinusoidale dettato dalla necessità di mantenersi ad adeguata distanza da un tabernacolo situato lungo la S.C. delle Vecchiarelle. In dettaglio sono presenti 2 curve, la prima sinistrorsa e la seconda destrorsa, entrambe di raggio 870 m, intervallate da clotoidi a parametro 300. In entrata ed uscita di tali curve sono presenti brevissimi rettilinei di collegamento a configurare i due flessi. Dati i raggi utilizzati, in tale zona si rende necessario allargare la carreggiata per garantire il rispetto della visibilità per l'arresto; la banchina interna delle 2 curve è stata quindi incrementata di 60 cm. Infine, dopo un breve rettilineo, il tracciato si immette alla progressiva 3886.49 nella rotatoria sulla SP Volterrana, appartenente al lotto 4, il cui centro è alla progressiva 3921.93.

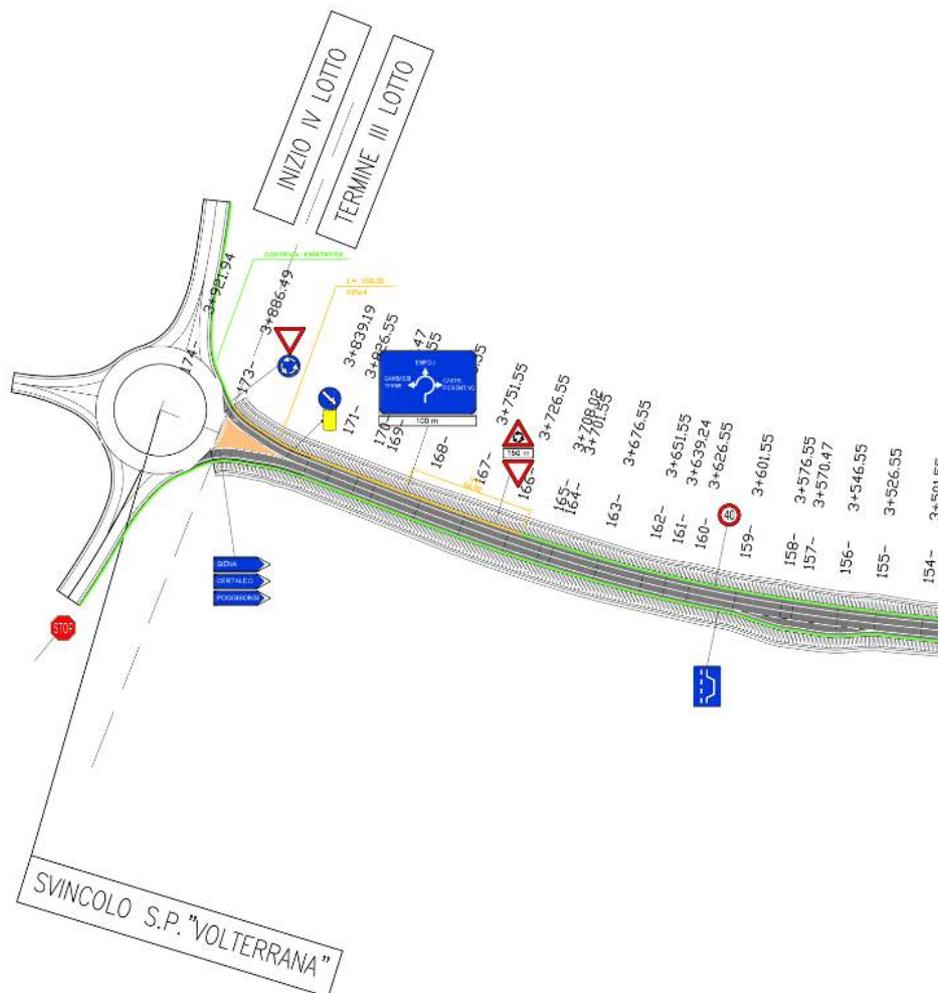


Fig. 2.1.3 - Rotatoria SP Volterrana

Per garantire la continuità della viabilità comunale esistente (S.C delle Vecchiarelle) è prevista una lunga deviazione stradale che corre al piede del nuovo rilevato; l' accesso ai fondi interclusi dalla nuova infrastruttura è reso possibile dai varchi predisposti in corrispondenza dei viadotti e dalle nuove strade di servizio al piede del rilevato. Dal punto di vista altimetrico il tracciato presenta pendenze modeste e rispetta le quote minime necessarie per garantire la sicurezza idraulica dell' arteria.

Nel Progetto Esecutivo è stato eliminato il sottopasso previsto dal Progetto Definitivo alla Sez. 140, dove, per avere l' altezza necessaria al transito (nel Progetto Definitivo si indicava 3,50 m), necessitava di uno scorrimento molto al di sotto del piano di campagna. Questo sottopasso si trovava in prossimità della cassa d' espansione in progetto e pertanto sarebbe stato a rischio di allagamento. Per tale motivo si è prolungato il percorso di questa strada di servizio, fino a passare sotto la campata laterale del Ponte sull' Elsa. Questa ed altre strade di servizio, sono parallele al piede dei rilevati dell' Asse Principale e adagate sul piano di campagna, senza scavi e riporti di rilievo. Per questo motivo è stato effettuato un tracciamento planimetrico ad una distanza quotata dal rilevato; analogamente le quote altimetriche si riferiscono a quelle del piede del rilevato che corre parallelamente e comunque sono progettati i profili longitudinali.

All' inizio del Lotto 3 la livelletta prosegue la configurazione della parte finale del lotto 2 (quota 61,00 m), con una pendenza del 2.62 % sino alla quota 60,00 m alla quale è ubicata la rotatoria di Certaldo Ovest. Il tracciato prosegue con andamento generalmente sub-orizzontale (in lieve discesa verso nord) sino alla progressiva 596,36 m, da cui inizia la rampa di accesso al viadotto di attraversamento del Borro della Corniola, alla progressiva 845 m, con pendenze comunque inferiori al 2%. Tra le progressive 1170,84 m e 2037,62 m la livelletta ritorna quasi orizzontale, sino alla progressiva 2187,50 dove, per permettere l' inserimento di un sottopasso carrabile, viene inserito un vertice altimetrico a quota 58.50 m. L' andamento

ritorna poi orizzontale per un breve tratto sino allo scavalco del fiume Elsa, ove sono previste pendenze simmetriche pari al 2.50%. Successivamente il tracciato si mantiene orizzontale, alla quota di sicurezza idraulica 54,80 m, definita dalle quote idrometriche dell' Elsa nella zona destinata a futura cassa di espansione. Il lotto termina con i rami di svincolo della rotatoria sulla SP Volterrana che si raccordano alle quote della stessa.

Questi tratti a livelletta orizzontale (che il Progetto Esecutivo mutua pedissequamente dal Progetto Definitivo) potrebbero essere migliorati in sede di gara con una offerta tecnica migliorativa, alternando livellette più corte e di pendenza contraria l' una l' altra, per un migliore smaltimento delle acque di piattaforma.

## 2.2 Caratteristiche generali dell'opera

### Ambito territoriale interessato:

Provincia: Firenze

Comuni: Certaldo, Gambassi T., Castelfiorentino..

Lunghezza complessiva dell'intervento: 3,992 km

(dalla rotatoria di Certaldo Ovest alla rotatoria sulla S.P. Volterrana)

Pendenza longitudinale massima: 2,61 %

Pendenza trasversale massima: 4,5 %

### Opere d'arte principali:

Viadotto Borro della Corniola

Ponte sul fiume Elsa

### Opere d'arte minori:

n. 1 SottoVia ciclopedonale ( n.1 - 3,50x3,00 )

n. 4 Tombini Scatolari Idraulici ( n.1 - 3.00x2.50, n.1 - 5.00x3.60, n.1 - 2.00x2.00, n.1 - 4,50x4,00 )

n. 9 Tombini Scatolari rilevato permeabile ( n.6 - 2.00x2.00, n.2 - 2.00x1.00, n.1 - 2.50x1.60 )

n. 1 Sottopasso Scatolare carrabile ( n.1 - 5,00 x 4,50 )

n. 1 Sottopasso su Spalla Ponte Elsa carrabile (n.1 - 4,50x5,00 )

n. 1 Tombino Circolare Idraulico ( n. 1 – DN1500 mm )

n. 2 Tombini Circolari Idraulici rilevato permeabile ( n. 2 – DN1500 mm )

n. 5 Tombini Circolari Idraulici rilevato permeabile con clapet ( n. 5 – DN800 mm )

n. 1 Muro verde in terra rinforzata L=280 m

### Sezione tipo

Categoria C1 (extraurbana secondaria rif. D.M. n° 5 del 5 novembre 2001):

1) sezione in rilevato: larghezza piattaforma B = 10,50 m

(composta da: 2 corsie di marcia da 3,75 m e banchine laterali da 1,50 m).

2) opere d'arte lungo l' asse principale: larghezza piattaforma B = 11,20 m

(composta da: 2 corsie di marcia da 3,75 m e banchine laterali da 1,50 m e 2,20 m).

3) rotatoria Svincolo Certaldo ovest: banchina esterna da 1,50 m, banchina interna da 1,00 m e corsia centrale da 8,00 m.

4) rami di svincolo rotatoria Certaldo Ovest: ramo in entrata corsia da 4,00 m e banchine da 1,50 m esterna e 0,50 m interna; ramo in uscita corsia da 4,50 m e banchine da 1,50 m esterna e 0,50 m interna.

5) rami di svincolo rotatoria Volterrana: ramo in entrata corsia da 3,50 m e banchine da 1,50 m esterna e 0,50 m interna; ramo in uscita corsia da 4,50 m e banchine da 1,50 m esterna e 0,50 m interna.

### 2.3 Caratteristiche del corpo stradale

La strada in progetto è a carreggiata unica bidirezionale con sezione tipo C1 (strade extraurbane secondarie) del DM 5.11.2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade” essendo composta da 2 corsie di marcia da 3,75 m e banchine laterali da 1,50 m, per una larghezza complessiva 10,50 m.

Per le sole opere d’ arte maggiori, in analogia a quanto già adottato nei lotti adiacenti, è prevista una sezione allargata a 11.20 m (realizzando l’ allargamento di 0,70 m nella banchina laterale), quale predisposizione per un eventuale raddoppio di carreggiata. Tale sezione allargata permette infatti di realizzare in futuro una strada a carreggiate separate con banchina in sinistra da 0,70 m, 2 corsie da 3,75 m, corsia d’ emergenza da 3,00 m, per una larghezza totale di 11,20 m per carreggiata. La sezione adottata prevede una piattaforma stradale con pendenza trasversale del 2,5% verso l’ esterno in rettili, mentre in curva la pendenza della piattaforma, rivolta verso il centro della curva stessa, dipende dal raggio di curvatura. La variazione tra le due sagome avviene lungo la clotoide di raccordo tra rettili e curva circolare.

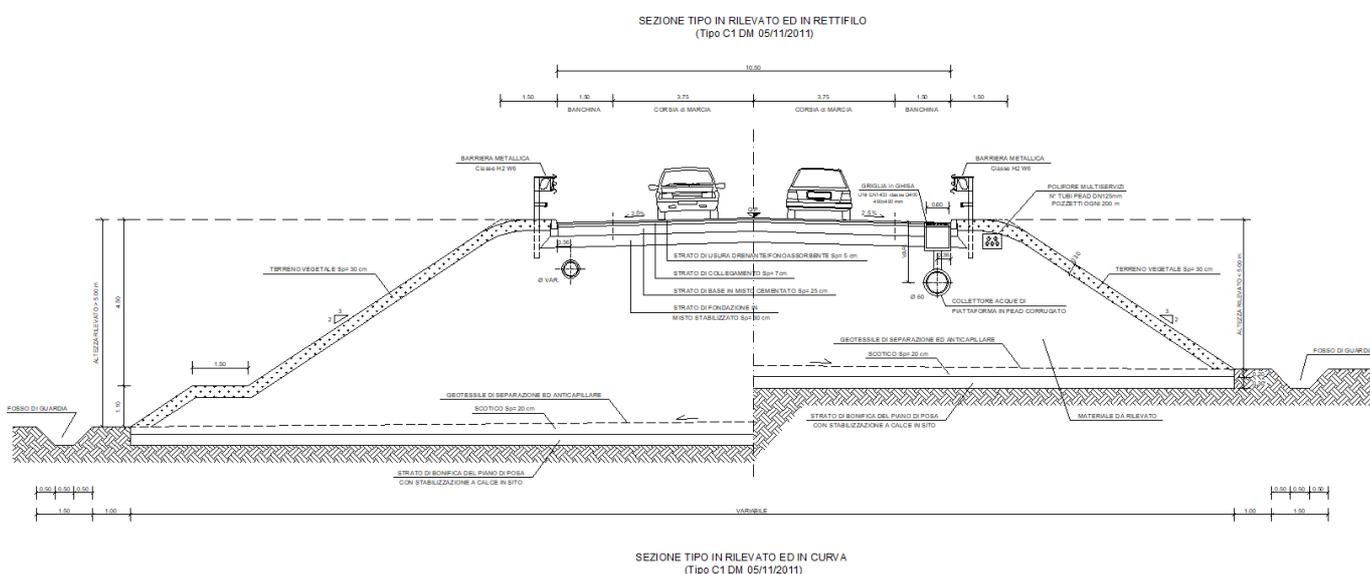


Fig. 2.3.1 – Sezione Tipo

Le scarpate dei rilevati hanno pendenza non superiore ai 2/3 (verticale/orizzontale) e saranno dotate di fossi di guardia posti a 1 m dal piede della scarpata. Tali fossi, atti al rapido allontanamento delle acque meteoriche, sono previsti a sezione trapezia di dimensioni 0,50+0,50+0,50 m e profondità 0.50 m. Per le acque provenienti dalla piattaforma stradale è prevista la realizzazione di un sistema di drenaggio e collettamento che raccolga e separi totalmente i deflussi di piattaforma dall’ ambiente circostante convogliandoli, attraverso una rete di pozzetti e tubi collettori, in apposite vasche di prima pioggia ai fini della loro depurazione prima della restituzione nei ricettori finali.

La sovrastruttura stradale, in conformità con la tipologia già adottata per i lotti adiacenti, è così composta:

- cm 5 di strato di usura in conglomerato bituminoso;
- cm 7 di strato di collegamento in conglomerato bituminoso (binder);
- cm 25 di strato di base in misto cementato;
- cm 30 di strato di fondazione in tout-venant di cava o misto di fiume.

In corrispondenza degli impalcati è prevista la stesa dei soli due strati superiori (usura 5 cm e binder 5 cm) al di sopra del manto di impermeabilizzazione della soletta.



### 3. VERIFICHE DEL TRACCIATO SECONDO IL D.M. 05/11/2001

#### 3.1 Generalità

Gli elementi geometrici dell'asse stradale devono rispettare i limiti imposti dalla Normativa Stradale (rif. D.M. 05/11/01 capitolo 5). In particolare, per le verifiche planimetriche si deve tener conto delle caratteristiche geometriche dei seguenti elementi.

#### Rettifilo

Per evitare il superamento delle velocità consentite, la monotonia, la difficile valutazione delle distanze e per ridurre l'abbagliamento nella guida notturna è opportuno che i rettifili abbiano una lunghezza  $L_r$  contenuta entro il limite seguente:

$$L_r = 22 \times V_{pmax} = 2200 \text{ m}$$

dove  $V_{pmax}$  è il limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto della strada.

Inoltre, per poter essere percepito dall'utente, il rettifilo deve avere una lunghezza minima che, nel caso in esame (velocità 100 km/h), è pari a 150 m. Tale requisito minimo non si applica ai rettifili in flessione tra due clotoidi, nel qual caso il rettifilo non deve avere lunghezza superiore a:

$$L_{max} = (A_1 + A_2)/12.5$$

#### Curve circolari

Le curve circolari devono essere progettate e dimensionate in modo da garantire il rispetto dei seguenti requisiti:

- Sicurezza della circolazione;
- Confort di marcia.

Il parametro geometrico che caratterizza le curve circolari e che condiziona il rispetto di tali requisiti è il raggio di curvatura  $R$ . Una curva circolare, per poter essere percepita, deve avere uno sviluppo corrispondente ad un tempo di percorrenza di almeno 2,5 secondi, valutato con riferimento alla velocità di progetto della curva. I rapporti tra i raggi  $R_1$  e  $R_2$  di due curve circolari che si succedono lungo il tracciato di strade tipo A, B, C, D e tipo F extraurbane, devono soddisfare a precise condizioni (rif. Abaco pag. 70 della normativa).

#### Curve a raggio variabile

Il passaggio dal rettifilo ad una curva e, più in generale, il collegamento di più curve, avviene con l'aiuto di raccordi progressivi. I raccordi progressivi, detti anche curve a raggio variabile, devono essere progettati in modo da garantire:

- una variazione di accelerazione centrifuga non compensata (contraccolpo) contenuta entro valori accettabili;
- una limitazione della pendenza (o sovrappendenza) longitudinale delle linee di estremità della piattaforma;
- la corretta percezione ottica del tracciato.

Sono previsti i seguenti tre criteri di verifica:

- Criterio 1 (limitazione del contraccolpo);
- Criterio 2 (sovrappendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata);
- Criterio 3 (ottico).

### Pendenza trasversale della piattaforma

Allo scopo di migliorare la stabilità del veicolo e per garantire nel contempo, a parità di sicurezza, maggiori velocità di percorrenza, la piattaforma stradale viene inclinata verso il centro di curvatura di un angolo  $\alpha$  (pendenza trasversale =  $q = \tan\alpha$ ). Il calcolo della pendenza trasversale è stato effettuato in funzione dell' abaco di pag. 74 della normativa.

Per le verifiche altimetriche si deve tener conto delle caratteristiche geometriche dei seguenti elementi:

### Livellette

Pendenza longitudinale massima consentita per strade di tipo C1 extraurbane: 7 %.

### Raccordi verticali concavi e convessi

Nessuna parte del veicolo (eccetto le ruote) deve aver contatto con la superficie stradale e ciò comporta:

- $Rv \geq 20$  m nei raccordi convessi;
- $Rv \geq 40$  m nei raccordi concavi;
- L' accelerazione verticale  $a_v$  non deve superare il valore limite  $a_{lim} = 0.6 \text{ m/s}^2$ .

I raccordi devono essere calcolati in modo da garantire la visibilità. La verifica si basa sul confronto del raccordo verticale di progetto con il valore ottenuto in funzione della distanza di visibilità da garantire.

### 3.2 Andamento planimetrico dell' asse stradale

La sezione stradale tipo C1 prevede un intervallo di velocità di progetto:

$V_{pmin} = 60 \text{ Km/h}$  velocità minima di progetto;

$V_{pmax} = 100 \text{ Km/h}$  velocità massima di progetto.

I raggi minimi previsti dalla Normativa sono:

$R_{min} = 118 \text{ m}$  raggio minimo per  $V_{min}$  e  $q_{max}$ ;

$R_{max} = 437 \text{ m}$  raggio minimo per  $V_{max}$  e  $q_{max}$

$R'_{2.5} = 5250 \text{ m}$

a cui corrispondono i seguenti coefficienti di aderenza trasversale:

$f_t(V_{min}) = 0.17$ ;

$f_t(V_{max}) = 0.11$ ;

Pendenza trasversale massima  $q_{max} = 0.45$

Larghezza della semicarreggiata  $B_i = 5.25 \text{ m}$ .

Nella Appendice 1 sono riportate le tabelle riepilogative delle verifiche effettuate su ogni elemento geometrico costituente il tracciato. I valori non conformi sono i seguenti:

- rettilineo 1: la lunghezza è minore del minimo, ma considerato che rappresenta i due rami di svincolo afferenti da sud alla rotatoria dello Svincolo di Certaldo Ovest, si ritiene la non conformità non rilevante;

- curva 3: non sono presenti clotoidi, ma poiché il raggio (7000m) è superiore a  $R_{2.5}$  (raggio oltre il quale la piattaforma può rimanere simile a quella in rettilineo), anche in questo caso la non conformità non appare rilevante, anche alla luce della ridotta estensione dell' angolo di deviazione della curva, che rende impossibile l' inserimento di raccordi;

- rettilineo 12: la lunghezza è minore del minimo, ma considerato che rappresenta i due rami di svincolo afferenti da sud alla rotatoria sulla SP Volterrana, si ritiene la non conformità non rilevante;



### 3.3 Verifiche di visibilità

Per quanto riguarda la verifica di visibilità, per i tratti in curva, si rimanda all'elaborato E.09.VP.02.01.0 "Diagrammi visuali libere" ove sono riportati i dati puntuali delle visibilità sul tracciato.

La geometria plano-altimetrica del presente Progetto Esecutivo è, come ricordato precedentemente, identica a quella del Progetto Definitivo approvato; pertanto si tratta di verificare le visuali libere, senza possibilità di fare scelte progettuali. La visuale libera per l'arresto, alla velocità di progetto di 100 Km/h, è verificata su tutto l'asse principale, eccetto che alla progressiva 3.700 m, dove la "Visibilità Altimetrica" di 145,56 m è leggermente inferiore alla "Distanza di Arresto" di 164,08 m; questo si ritiene ammissibile per il fatto che ci si trova in prossimità dello Svincolo con la S.P. Volterrana e pertanto in quel punto non sarà possibile tenere la suddetta velocità; anzi in quella zona la velocità sarà opportunamente limitata con apposita segnaletica. Non sono inseriti in progetto i "Diagramma Visuali Cambio Corsia" e "Diagramma Visuali Sorpasso", perché non verificati, pertanto su tutto il tracciato il sorpasso ed il cambio di corsia saranno vietati con doppia riga centrale.

Per maggiore chiarezza comunque, di seguito si indicano, per ogni curva, le entità degli allargamenti previsti della banchina interna al fine di garantire la visibilità per l'arresto:

Raggio	Allargamento	Entità allargamento
7.000m	no	-
2.000m	no	-
1015m	no	-
1550m	no	-
870m	si	0,60m
870m	si	0,60m

Fig. 3.3.1 – Allargamenti della banchina

Le distanze di visuale libera indicate nell'elaborato sopracitato si riferiscono alla configurazione finale della piattaforma stradale, quindi già con la applicazione degli allargamenti ove necessari.

### 3.4 Andamento altimetrico dell' asse stradale

Per le verifiche altimetriche si tiene conto dei dati seguenti:

- pendenza longitudinale massima del tracciato ( $p = 2,61\%$ );
- distanza di visibilità per l' arresto, in funzione della velocità di progetto derivante dal diagramma di velocità;
- distanza di visibilità per il sorpasso, in funzione della velocità di progetto derivante dal diagramma di velocità; il sorpasso non è consentito, per quanto affermato precedentemente.
- altezza del centro dei fari del veicolo sul piano stradale:  $h_1 = 0,5$  m;
- altezza sul piano stradale degli occhi del conducente:  $h_1 = 1,1$  m;
- altezza dell' ostacolo fisso  $h_2 = 0,1$  m; in caso di visibilità per il sorpasso  $h_2 = 1,1$  m.

Si riepilogano nella tabella seguente le verifiche di ottemperanza ai raggi minimi dei raccordi altimetrici ai fini della sola visibilità per l' arresto, dato che la totalità del tracciato non risulta permettere la verifica della visibilità per il sorpasso dal punto di vista planimetrico. escludendo i raccordi compresi nei rami di svincolo.

Progressiva	Delta i %	Sviluppo	Raggio minimo	Raggio
				utilizzato
220,144m	-0,1655	16,554m	1286,008m	10000m
596,361m	2,1655	86,611m	1286,008m	4000m
845,000m	-3,8039	304,275m	7972,27m	8000m
1170,838m	1,6709	66,828m	1286,008m	4000m
1939,395m	0,1330	7,980m	1286,008m	6000m
2037,62m	0,7006	28,022m	1286,008m	4000m
2187,50m	-1,4011	84,066m	4927,405m	6000m
2472,986m	0,7006	28,022m	1286,008m	4000m
2607,540m	2,5000	77,484m	2609,375m	3100m
2851,540m	-5,0000	409,915m	8153,533m	8200m
3163,540m	2,5000	99,979m	2609,375	4000m

Fig. 3.4.1 – Verifica dei raggi minimi dei raccordi altimetrici

## 4. CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE

### 4.1 Generalità

Le pavimentazioni da impiegare nel progetto del lotto 3 del collegamento tra il raccordo autostradale Firenze - Siena (Poggibonsi) e la S.G.C. Firenze – Pisa - Livorno (Empoli) sono configurate come indicato nella seguente tabella:

Sezioni del tracciato	Pavimentazione prevista	Spessore [cm]
Asse principale e zone di svincolo	Usura in conglomerato bituminoso	5
	Binder in conglomerato bituminoso	7
	Base in misto cementato	25
	Fondazione in stabilizzato granulometrico	30
Viadotto Borro della Corniola	Usura in conglomerato bituminoso	5
	Binder in conglomerato bituminoso	5 ÷ 21
Ponte sul fiume Elsa	Usura in conglomerato bituminoso	5
	Binder in conglomerato bituminoso	7
Viabilità secondaria	Fondazione in stabilizzato granulometrico	30

Fig. 4.1.1 – Caratteristiche della pavimentazioni

### 4.2 Analisi del traffico e dei carichi

Il dimensionamento mediante calcolo “a fatica” di una sovrastruttura stradale richiede la previsione dei carichi che questa dovrà sopportare durante la sua vita utile e quindi del traffico veicolare, in particolar modo di quello pesante in quanto le autovetture e gli autocarri di piccole dimensioni non sono significativi ai fini del calcolo.

Non esiste un criterio Normativo che stabilisca un valore minimo per la vita utile di una sovrastruttura stradale ma, nella pratica corrente, si assume convenzionalmente un valore paria 20 anni. Le verifiche che seguono sono pertanto basate su questo criterio.

I dati di traffico utilizzati sono quelli ottenuti dalle previsioni effettuate per l' asse principale, che stimano per l' anno di entrata in servizio dell' opera:

- un TGM totale pari a 14000 veicoli/giorno;
- una percentuale di veicoli pesanti pari al 5%;
- un tasso di accrescimento annuo pari al 1% ed al 0.5% rispettivamente per i primi cinque anni e per quelli successivi.

L' eterogeneità del traffico veicolare pesante richiede di rapportare gli effetti prodotti da un dato carico ad una sola tipologia di carico. Attraverso il calcolo del numero di assi standard equivalenti (*E.S.A.*, *Equivalent Standard Axle*) è possibile omogeneizzare, rispetto ad un asse di riferimento, i carichi che agiscono su una determinata pavimentazione stradale, in modo da potere poi confrontare il numero di tali assi standard ( $N_{ESA}$ ) con quelli che la pavimentazione è in grado di sopportare nell' arco dell'intera vita utile ( $N_{MAX}$ ). Per calcolare la sovrastruttura, utilizzando un unico carico di riferimento, è necessario determinare il coefficiente di equivalenza totale del veicolo generico ( $EF_{TOT}$ ), con la seguente metodologia:

- individuazione della distribuzione frazionale dei tipi di veicoli ( $p_j$ ) componenti il traffico;
- determinazione, limitatamente ai soli veicoli commerciali (tara > 15 kN), del coefficiente di equivalenza del singolo veicolo appartenente alla classe  $j$ -esima ( $EF_j$ ),

come somma dei coefficienti di equivalenza dei suoi assi, siano essi singoli, tandem o tridem;

- coefficiente di equivalenza totale (EF) riferito alle m tipologie di veicoli commerciali transitanti sulla sovrastruttura dato dalla sommatoria:

$$EF_{TOT} = \sum_{j=1,m} p_j \cdot EF_j$$

da cui è possibile calcolare:

$$N_{ESA} = EF_{TOT} \cdot TGM$$

Le percentuali delle singole tipologie di veicoli sono state calcolate sulla base di quanto esposto nella CNR B.U. 178/95 "Catalogo delle pavimentazioni stradali" che indica:

- gli spettri tipici dei veicoli commerciali con la frequenza espressa in percentuale, come indicato nella seguente tabella:

Tipo di strada	Tipo di veicolo															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. autostrade extraurbane	12	-	24,4	14,6	2,4	12,2	2,4	4,9	2,4	4,9	2,4	4,9	0,1	-	-	12,2
2. autostrade urbane	18,2	18,2	16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	18,2	27,3	-
3. strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico	-	13,1	39,5	10,5	7,9	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	0,5	-	-	10,5
4. strade extraurbane secondarie ordinarie	-	-	58,8	29,4	-	5,9	-	2,8	-	-	-	-	0,2	-	-	2,9
5. strade secondarie turistiche	24,5	-	40,8	16,3	-	4,15	-	2	-	-	-	-	0,05	-	-	12,2
6. strade urbane di scorrimento	18,2	18,2	16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	18,2	27,3	-
7. strade di quartiere e locali	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-
8. corsie preferenziali	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	53	-

- le tipologie dei veicoli, il numero di assi e la distribuzione di carichi per asse, come di seguito indicato:

- le tipologie dei veicoli, il numero di assi e la distribuzione di carichi per asse, come di seguito indicato:

- le tipologie dei veicoli, il numero di assi e la distribuzione di carichi per asse, come di seguito indicato:

Tipo di veicolo	N° di assi	Distribuzione dei carichi per asse in KN									
Autocarri leggeri	2	↓10				↓20					
Autocarri leggeri	2	↓15				↓30					
Autocarri medi e pesanti	2	↓40				↓80					
Autocarri medi e pesanti	2	↓50				↓110					
Autocarri pesanti	3	↓40				↓80		↓80			
Autocarri pesanti	3	↓60				↓100		↓100			
Autotreni e autoarticolati	4	↓40				↓90			↓80		↓80
Autotreni e autoarticolati	4	↓60				↓100			↓100		↓100
Autotreni a autoarticolati	5	↓40	↓80	↓80						↓80	↓80
Autotreni e autoarticolati	5	↓60	↓90	↓90						↓100	↓100
Autotreni e autoarticolati	5	↓40	↓100						↓80	↓80	↓80
Autotreni e autoarticolati	5	↓60	↓110						↓90	↓90	↓90
Mezzi d'opera	5	↓50	↓120						↓130	↓130	↓130
Autobus	2	↓40				↓80					
Autobus	2	↓60				↓100					
Autobus	2	↓50				↓80					

Per quanto riguarda il tracciato in esame, classificabile secondo il DM 05.11.2011 come strada di categoria C1 (tipo 4), l'analisi condotta fornisce un Equivalency Factor totale pari a:

$$EF_{TOT} = \sum_{j=1,m} p_j \cdot EF_j = 2,132$$

Si ottiene quindi un valore di traffico cumulativo massimo pari a:

$$N_{ES481.6kN} = EF_{TOT} \cdot TGM = 4,2 \cdot 10^6$$

$$N_{ES4120kN} = \frac{N_{ES481.6kN}}{EF_{120kN}} = 7,3 \cdot 10^5$$

### 4.3 Analisi tenso-deformativa della pavimentazione

Il calcolo è stato svolto con il metodo razionale o degli strati mediante il software BISAR, prodotto dalla Shell, che schematizza la pavimentazione come un multistrato elastico, costituito da un insieme di strati sovrapposti ed appoggiati su un semispazio elastico (Sottofondo).

Le ipotesi di base sono:

- gli strati hanno spessore uniforme su tutta la larghezza;
- gli strati hanno dimensione illimitata nel piano orizzontale e spessore finito, ad eccezione del sottofondo che ha anche spessore illimitato;

nell' ambito di ogni strato il materiale è omogeneo isotropo e perfettamente elastico ed è quindi caratterizzato dalle costanti E (modulo elastico di Young) e  $\nu$  (coefficiente di Poisson);

- non vi è possibilità di scorrimento sui piani orizzontali fra i vari strati (perfetta aderenza).

Il multistrato, in particolare, è sottoposto ai carichi verticali trasmessi dalle ruote dei veicoli, che si assumono uniformemente distribuiti su superfici circolari, con pressione pari a quella di gonfiaggio dei pneumatici. I risultati ottenuti, in particolare, sono riportati nell' Allegato 2.

I calcoli riportati nell' Allegato 2, in particolare, fanno riferimento alla pavimentazione prevista per l' asse principale del tracciato in esame, cioè alla sezione più gravosa dal punto di vista dei carichi applicati. Nell' eventualità che in alcuni tratti del tracciato, come ad esempio la viabilità secondaria, si verificano moduli del sottofondo inferiori al valore adottato, si prevedono interventi di stabilizzazione del terreno in sito con leganti idraulici.

#### 4.3.1 Specifiche

La sovrastruttura in esame, di spessore complessivo pari a 67 cm, presenta le specifiche di seguito indicate.

Tipo di materiale (strato)	Spessore [m]	Modulo resiliente (E) [MPa]	Coefficiente di Poisson ( $\nu$ )
Conglomerato bituminoso (usura)	0.05	4600	0.35
Conglomerato bituminoso (binder)	0.07	4600	0.35
Misto cementato (base)	0.25	2000	0.25
Stabilizzato granulometrico (fondazione)	0.30	400	0.40
Terreno (sottofondo)		80	0.40

### 4.3.2 Analisi

Per quanto riguarda i carichi utilizzati si considera:

- carico asse = 120 kN;
- carico sulla singola coppia di ruote gemellate = 60 kN;
- carico su ogni ruota = 30 kN;
- pressione di gonfiaggio = 0.75 MPa.

Sono state valutate le tensioni, le deformazioni e gli spostamenti lungo i tre assi del sistema di riferimento ed è stato verificato che:

- nel conglomerato bituminoso superficiale le sollecitazioni medie siano tali da non superare i seguenti valori:
  - in compressione:  $\sigma_{\text{max compressione}} = -0,96$  MPa
  - in trazione:  $\sigma_{\text{max trazione}} = 0,54$  MPa.
- per evitare deformazioni plastiche di fondazione, alla sommità del sottofondo sia verificata la condizione:  $\varepsilon_{\text{max}} < 800 \mu\varepsilon$ ;
- la deflessione massima in superficie sia inferiore al valore limite di riferimento pari a 0,1 cm.

### 4.3.3 Verifica a fatica

La verifica a fatica prevede i seguenti passi:

- valutazione, in asse alla coppia di ruote gemellate, delle tensioni in sommità del sottofondo e determinazione della tensione ammissibile per  $N_{ESA\ 120\ kN}$  passaggi di un asse da 120 kN mediante l'espressione di Kerhoven e Dormon, secondo la quale la massima sollecitazione verticale ( $\sigma$ ) ammessa sul sottofondo è legata al numero di ripetizioni del carico ( $N$ ) ed al modulo del sottofondo ( $E_0$ ) dalla formula:

$$\sigma = \frac{0.006 \cdot E_0}{1 + 0.7 \cdot \log N}$$

- valutazione, in asse alla coppia di ruote gemellate, della deformazione specifica verticale alla sommità del sottofondo ( $\varepsilon_{zz}$ ), al fine di valutare il numero di ripetizioni di carico possibili nello stesso mediante le relazioni sperimentali riportate nel manuale Shell:

$$\varepsilon_{zz}(85\%) = 0.021 \cdot N^{-0.25}$$

$$\varepsilon_{zz}(95\%) = 0.018 \cdot N^{-0.25}$$

La verifica si esegue utilizzando la seconda espressione, corrispondente al 95° percentile, e, se soddisfatta, significa che il livello tensionale presente nel sottofondo consente di escludere che durante la vita utile della sovrastruttura si manifestino delle deformazioni permanenti tali da comprometterne la funzionalità;

- calcolo delle deformazioni in direzione orizzontale alla base degli strati in conglomerato bituminoso e determinazione mediante la legge di Verstraeten del numero di passaggi di carico ammessi, utilizzando la massima deformazione ottenuta. La legge che si utilizza è del tipo:

$$\varepsilon_N = A \cdot N^{-\alpha}$$

essendo:

- A la deformazione per  $N = 1$  (circa  $50 \times 10^{-4}$ );
- $\alpha$  un coefficiente sperimentale compreso tra 0.20 e 0.25. Si considera in seguito il valore suggerito dalla Società AUTOSTRADE  $\alpha = 0.234$ ;
- $\varepsilon_N$  la deformazione specifica massima in direzione radiale ammessa per  $N$  cicli di carico, espressa in forma analitica mediante la relazione:

$$\varepsilon_N = \max \left\{ \varepsilon_{xx}^A, \varepsilon_{yy}^A, \varepsilon_{xx}^B, \varepsilon_{yy}^B \right\}$$

calcolo dei valori tensionali nel misto cementato e determinazione della tensione ammissibile per  $N_{ESA\ 120\ kN}$  passaggi di un asse da 120 kN mediante una legge sperimentale del tipo:

$$\sigma_N = \sigma_R \cdot (1 - K \cdot \log N)$$

essendo:

- $K$  una costante sperimentale che assume valori variabili tra  $0.03 \div 0.05$ . Si considera in seguito il valore  $K = 0.05$ ;
- $\sigma_R$  la resistenza a rottura del materiale per carico singolo ( $N=1$ ). Si considera in seguito il valore  $\sigma_R = 0,35$  MPa.

La tabella seguente riassume i risultati ottenuti che confermano il corretto proporzionamento della nuova proposta di pavimentazione.

	Valore limite	Valore calcolo	Esito verifica
Sollecitazioni nel cb superficiale	$\sigma_{\text{limite compressione}} = - 0.96$ MPa	$\sigma_{\text{max}} = - 0.37$ MPa	OK
	$\sigma_{\text{limite trazione}} = 0.54$ MPa	$\sigma_{\text{max}} = 0.14$ MPa	OK
Deformazioni alla sommità del Sottofondo	$\varepsilon_{\text{limite}} = 800$ $\mu\varepsilon$	$\varepsilon_{\text{max}} = 180$ $\mu\varepsilon$	OK
Deflessione massima in superficie	$\delta_{\text{limite}} = 0.1$ cm	$\delta_{\text{max}} = 0.03$ cm	OK
Relazione di Kerhoven e Dormon $\sigma = \frac{0.006 \cdot E_0}{1 + 0.7 \cdot \log N}$	$\sigma_{\text{limite}} = 0.10$ MPa	$\sigma_{\text{max}} = 0.01$ MPa	OK
Relazioni sperimentali del manuale Shell $\varepsilon_{zz}(95\%) = 0.018 \cdot N^{-0.25}$	$N_{ESA-120kN} = 7.3 \cdot 10^5$	$N = 9.7 \cdot 10^7$	OK
Legge di fatica $\varepsilon_N = A \cdot N^{-\alpha}$	$N_{ESA-120kN} = 7.3 \cdot 10^5$	$N = 2.96 \cdot 10^8$	OK
Misto cementato $\sigma_N = \sigma_R \cdot (1 - K \cdot \log N)$	$\sigma_{\text{limite}} = 0.25$ MPa	$\sigma_{\text{max}} = 0.20$ MPa	OK