

IL CONCEDENTE

IL CONCESSIONARIO



# AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

CODICE C.U.P. E81B08000060009

## PROGETTO DEFINITIVO

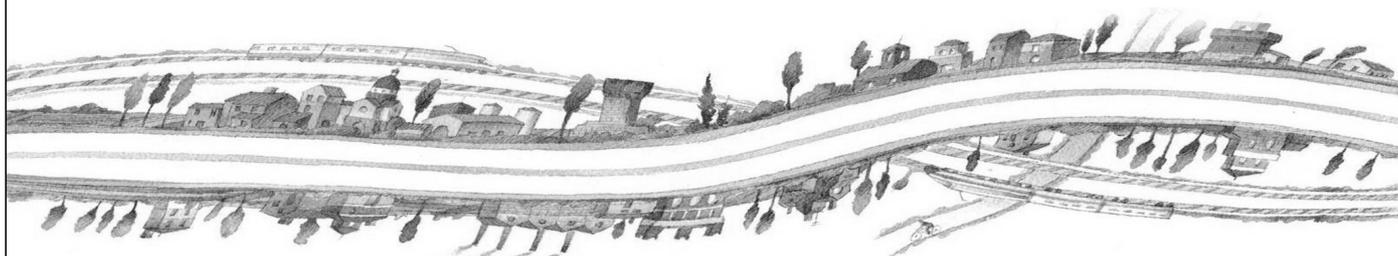
### VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE D04-08 (EX 1FE) RACCORDO BONDENO-CENTO-AUTOSTRADA CISPADANA

PROGETTAZIONE STRADALE

ASSE STRADALE - TRATTO C

DST01 - SOTTOVIA VIA "DEGLI OROLOGI"

RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA DEL TRACCIATO



IL PROGETTISTA

**Alpina** S.p.A.  
Dott. Ing. Marco Bonfanti  
Ordine Ingegneri di Milano  
n. A/23384

RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emilio Salsi  
Albo Ing. Reggio Emilia n° 945



IL CONCESSIONARIO

Autostrada Regionale  
Cispadana S.p.A.  
IL PRESIDENTE  
Graziano Pattuzzi

*G. Pattuzzi*

|      |            |             |  |                |                          |
|------|------------|-------------|--|----------------|--------------------------|
| G    |            |             |  |                |                          |
| F    |            |             |  |                |                          |
| E    |            |             |  |                |                          |
| D    |            |             |  |                |                          |
| C    |            |             |  |                |                          |
| B    |            |             |  |                |                          |
| A    | 17.04.2012 | EMISSIONE   |  | Ing. Magagnino | Ing. Bonfanti Ing. Salsi |
| REV. | DATA       | DESCRIZIONE |  | REDAZIONE      | CONTROLLO APPROVAZIONE   |

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

|             |      |       |        |                  |              |        |                |             |      |
|-------------|------|-------|--------|------------------|--------------|--------|----------------|-------------|------|
| NUM. PROGR. | FASE | LOTTO | GRUPPO | CODICE OPERA WBS | TRATTO OPERA | AMBITO | TIPO ELABORATO | PROGRESSIVO | REV. |
| 5500        | PD   | 0     | D05    | DST01            | 0            | SD     | RT             | 01          | A    |

DATA: MAGGIO 2012

SCALA:



AUTOSTRADA  
REGIONALE  
CISPADANA

**REGIONE EMILIA ROMAGNA**  
AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA  
dal casello di Reggiolo-Rolo sulla A22 al casello di Ferrara Sud sulla A13  
**PROGETTO DEFINITIVO**  
**PROGETTAZIONE STRADALE**  
DST01 - SOTTOVIA VIA "DEGLI OROLOGI"  
**RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA DEL TRACCIATO**

---

## **AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA**

### **PROGETTAZIONE STRADALE**

#### **RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA DEL TRACCIATO**

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. PREMESSA .....  | 3  |
| 2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO STRADALE .....                                       | 4  |
| 2.1. Piattaforma stradale e sezioni tipo .....                                   | 4  |
| 2.2. Andamento planimetrico .....  | 6  |
| 2.3. Andamento altimetrico .....   | 8  |
| 3. PROGETTAZIONE ASSI STRADALI .....   | 10 |
| 3.1. Inquadramento Normativo .....   | 10 |
| 3.2. Criteri progettuali principali .....  | 10 |
| 3.2.1. Caratteristiche planimetriche .....                                       | 10 |
| 3.2.2. Caratteristiche altimetriche .....  | 14 |
| 3.2.3. Analisi di visibilità .....   | 16 |
| 3.2.4. Rappresentazione dei risultati .....                                      | 18 |
| 4. RISULTATI DELLE VERIFICHE DI CONGRUENZA CON LE NORMATIVE DI RIFERIMENTO ..... | 19 |
| 4.1. Assi stradali .....   | 19 |
| 4.1.1. Andamento planimetrico .....  | 19 |
| 4.1.2. Andamento altimetrico .....   | 20 |
| 4.1.3. Verifiche di visibilità .....   | 23 |

## **1. PREMESSA**

---

L'intervento "D05" classificato come "Sottovia degli Orologi" riguarda la risoluzione dell'interferenza dell'Autostrada Cispadana alla progressiva 42+819 con la locale via degli Orologi. L'ambito dell'intervento è prettamente extraurbano e la viabilità interferita è assimilabile come strada di categoria F2. Via degli Orologi sarà connessa alla nuova viabilità classificata come "1FE - Bondeno-Cento" mediante incrocio a rotatoria non interessato dal presente stralcio di progetto.

## 2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO STRADALE

---

L'intervento si colloca alla progressiva 42+819 dell'Autostrada Cispadana, tra le frazioni Alberone e Buonacompra, in comune di Cento. Esso costituisce la risoluzione dell'interferenza lungo via degli Orologi venutasi a creare a seguito del passaggio della nuova autostrada.

L'intervento è di modesta entità ed è costituito da un rettilineo che connette via degli Orologi alla nuova "Bondeno-Cento" in corrispondenza di un'intersezione a rotatoria opportunamente collocata ed afferente ad altro stralcio di progetto.

Dal punto di vista altimetrico, il tracciato è pressoché piano, con una livelletta di pendenza pari al 4% in uscita dalla rotatoria sulla Bondeno – Cento, un tratto pianeggiante che si sviluppa in sottovia al di sotto del rilevato autostradale ed un modesto raccordo altimetrico finale per riportarsi sulla viabilità esistente. Lo sviluppo planimetrico è totalmente in rettilineo, per una lunghezza di circa 150 metri.

La piattaforma stradale assimilabile al tipo F2 – Locale extraurbana è organizzata con due corsie di marcia di 3,25 m, due banchine da 1,00 m per totali 8,50 m. All'esterno della superficie pavimentata sono previsti arginelli in terra di larghezza pari a 1,05 m per consentire la corretta installazione dei dispositivi di ritenuta quando richiesti dal quadro normativo vigente.

Al piede del rilevato è previsto un fosso con duplice funzione di guardia e di laminazione.

La pendenza delle scarpate del rilevato stradale e del fosso laterale è prevista pari a 2/3. Le scarpate del rilevato stradale sono previste inerbite superficialmente stendendo una coltre di terreno vegetale spessa 30 cm.

Per la formazione del rilevato è prevista la preparazione del piano di posa con la sostituzione della coltre erbosa di 20 cm (scotico) e bonifica di spessore di 0,60 m di cui la parte più profonda (30cm) stabilizzata a calce in situ. Ai lati del rilevato sono previsti approfondimenti della bonifica per un'estensione laterale di 2,50 m ed una profondità di ulteriori 30 cm.

Nei tratti in rilevato e in corrispondenza delle intersezioni a raso la sovrastruttura stradale prevede la seguente composizione: usura, binder, base di spessori rispettivamente pari a 3, 7 e 17 cm.

### 2.1. Piattaforma stradale e sezioni tipo

---

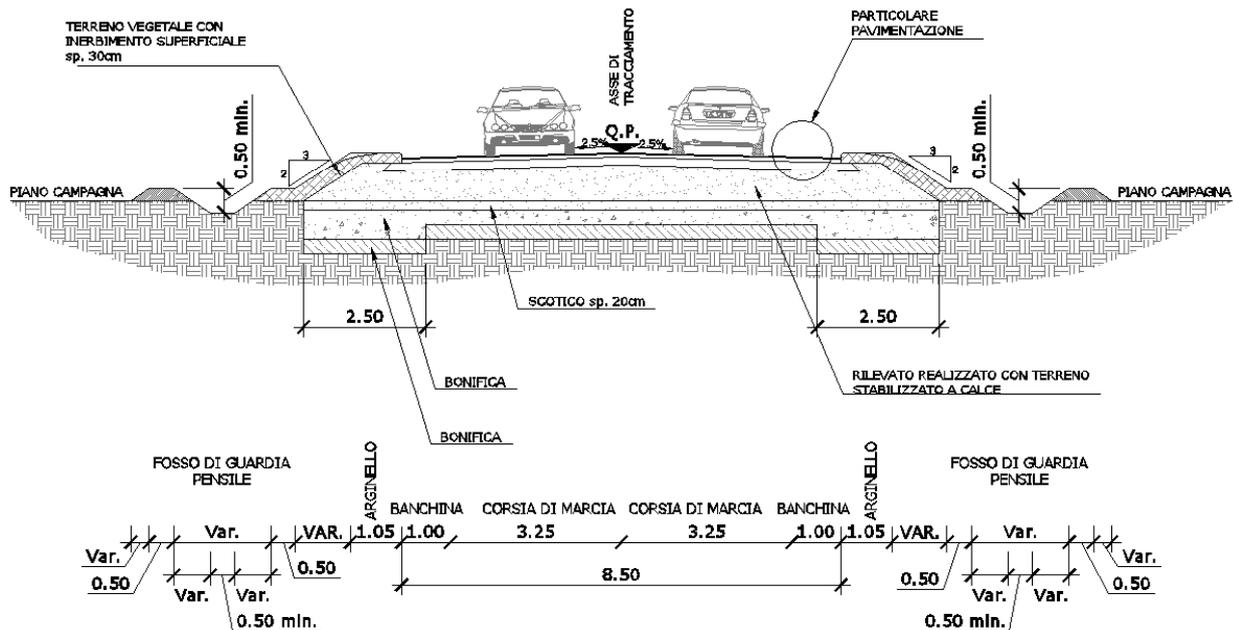
Con riferimento alla sezione stradale tipo, secondo quanto previsto dalla normativa vigente del D.M. 05/11/2001 è stata adottata per l'asse principale la seguente piattaforma stradale: strada locale ambito extraurbano Tipo F2.

## Strada tipo F2:

La piattaforma risulta costituita da due corsie di marcia oltre a banchina per una larghezza totale esclusi gli elementi marginali pari a 9,50 m. La pendenza trasversale corrente è pari al 2,50% verso l'esterno per ciascuna corsia (**figura 2.1**).

### SEZIONE TIPO STRADA CAT. F2

#### SEZIONE IN RETTIFILO IN RILEVATO H<1.00 m Scala 1:100



**Figura 2.1 Esempio di sezione tipo F2 in rettifilo**

Le due corsie sono di larghezza pari a 3,25 m, la banchina è di larghezza pari a 1,00 m.

Il valore della piattaforma ed in particolare quello della banchina sopra indicati rappresentano la larghezza corrente della carreggiata. Data la semplicità dell'andamento planimetrico (completamente in rettifilo) non si è reso necessario operare allargamenti della sede stradale o degli elementi marginali al fine di garantire le visuali libere per l'arresto.

Nei tratti in rilevato la piattaforma pavimentata è completata in destra e sinistra da arginelli in terra di larghezza pari a 1,50 m, rialzati di circa 10 cm dal piano del finito e delimitati lungo il ciglio strada da cordolo bituminoso. L'arginello ha la funzione di consentire l'inserimento delle barriere di sicurezza e degli elementi componenti il sistema di smaltimento delle acque di piattaforma. Sempre in corrispondenza degli arginelli

troveranno collocazione i pozzetti di ispezione per gli impianti tecnologici e, dove previste, ed i corpi illuminanti.

Le scarpate sono realizzate con pendenza 2/3: i primi 30 cm di terreno saranno di tipo vegetale al fine di facilitarne l'inerbimento delle scarpate.

Il rilevato stradale viene realizzato su piano di posa preparato mediante scotico (sp= 20 cm) e bonifica del terreno realizzata in parte per sostituzione con terreno stabilizzato a calce ed in parte per trattamento del terreno in sito mediante stabilizzazione a calce. A tal proposito si rimanda agli elaborati di Progetto per maggiori specifiche.

## 2.2. Andamento planimetrico

Nelle tabelle a seguire vengono sintetizzate le caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono gli assi stradali. In colonna (5) è riportato il tipo di elemento planimetrico considerato utilizzando le seguenti abbreviazioni:

- R = Rettifilo
- C = Curva Circolare
- AT = Clotoide di Transizione
- AF = Clotoide di Flesso
- AC = Clotoide di Continuità

In colonna (7) è indicato il verso di percorrenza delle curve circolari nella direzione delle progressive crescenti (DX = curva destrorsa, SX = curva sinistrorsa), in colonna (8) il valore di pendenza trasversale, mentre in colonna (9) è riportato per ogni elemento il valore massimo della velocità di progetto dedotto dal diagramma delle velocità.

Nella colonna (8) l'abbreviazione R significa l'adozione in curva della pendenza trasversale in discesa verso il margine esterno (falda in contropendenza) come quella in rettifilo.

### Intersezione a raso Rotatoria

| Elem. | Progr Inizio<br>(m) | Progr Fine<br>(m) | Lunghezza<br>(m) | Tipo<br>Elem. | Parametro | Vs | Ic<br>(%) | Vp<br>(Km/h) |
|-------|---------------------|-------------------|------------------|---------------|-----------|----|-----------|--------------|
|-------|---------------------|-------------------|------------------|---------------|-----------|----|-----------|--------------|



| (1) | (2)   | (3)    | (4)    | (5) | (6) | (7) | (8)  | (9)    |
|-----|-------|--------|--------|-----|-----|-----|------|--------|
| 1   | 0,000 | 152,11 | 152,11 | R   |     |     | 2,50 | 100,00 |

### 2.3. Andamento altimetrico

Il profilo altimetrico è costituito da tratti a pendenza costante (livellette) collegati da raccordi verticali convessi e concavi. I raccordi altimetrici si distinguono in convessi e concavi e sono realizzati mediante archi di parabola quadratica ad asse verticale, il cui sviluppo (L) viene calcolato con la seguente espressione:

$$L = R_v \times \frac{\Delta i}{100} \quad [m]$$

dove  $\Delta i$ , espressa in percentuale, è la variazione di pendenza fra le due livellette da raccordare e  $R_v$  è il raggio del cerchio osculatore, nel vertice della parabola.

Nelle tabelle a seguire vengono sintetizzate le caratteristiche degli elementi altimetrici che compongono l'asse stradale e gli assi del percorso ciclo-pedonale. In colonna (2) è riportato il tipo di raccordo altimetrico considerato utilizzando le seguenti abbreviazioni:

S = Raccordo verticale convesso (Sacca)

D = Raccordo verticale concavo (Dosso)

In colonna (3) è indicata la progressiva del vertice, nelle colonne (6), (7) e (8) rispettivamente l'inizio, la fine e lo sviluppo del raccordo, nelle colonne (9) e (10) la pendenza di ogni livelletta. Infine, in colonna (4) il valore del raggio di progetto.

#### Intersezione a raso Rotatoria

| N   | D/S | Progr.Vert | Rv      | delta i (%) | Progr Inizio (m) | Progr Fine (m) | Lunghezza (m) | i1 (%) | i2 (%) |
|-----|-----|------------|---------|-------------|------------------|----------------|---------------|--------|--------|
| (1) | (2) | (3)        | (4)     | (5)         | (6)              | (7)            | (8)           | (9)    | (10)   |
| 1   | D   | 9,099      | 500,00  | 2,00        | 4,099            | 14,099         | 10,00         | -2,00  | -4,00  |
| 2   | S   | 38,699     | 650,00  | 4,00        | 25,699           | 51,699         | 26,000        | -4,00  | 0,00   |
| 3   | D   | 110,247    | 1000,00 | 1,80        | 101,247          | 119,247        | 18,000        | 0,00   | -1,80  |
|     | S   | 129,757    | 1000,00 | 1,70        | 121,251          | 138,262        | 17,011        | -1,80  | -0,10  |



AUTOSTRADA  
REGIONALE  
CISPADANA

**REGIONE EMILIA ROMAGNA**  
AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA  
dal casello di Reggiolo-Rolo sulla A22 al casello di Ferrara Sud sulla A13  
**PROGETTO DEFINITIVO**  
**PROGETTAZIONE STRADALE**  
DST01 - SOTTOVIA VIA "DEGLI OROLOGI"  
**RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA DEL TRACCIATO**

---

### 3. PROGETTAZIONE ASSI STRADALI

---

#### 3.1. Inquadramento Normativo

---

Per un quadro esaustivo della normativa applicata si faccia riferimento all'elaborato:

PD\_0\_0000\_0000\_0\_GE\_KT\_01      Elenco delle Normative di riferimento

#### 3.2. Criteri progettuali principali

---

##### 3.2.1. Caratteristiche planimetriche

La normativa di riferimento richiede il rispetto delle seguenti condizioni:

(a) *Raggio minimo delle curve planimetriche.*

Le curve circolari devono aver un raggio superiore al raggio minimo previsto dal DM 05/11/2001 che risulta:

- pari a 118 metri nel caso di strade extraurbane secondarie TIPO C
- pari a 45 metri nel caso di strade extraurbane locali TIPO F

(b) *Relazione raggio della curva (R)/lunghezza del rettifilo (L) che la precede:*

$$\text{per } L < 300 \text{ m} \quad R \geq L$$

$$\text{per } L \geq 300 \text{ m} \quad R \geq 400 \text{ m}$$

(c) *Compatibilità tra i raggi di due curve successive.*

Nel caso di passaggio da curve di raggio più grande a curve di raggio più piccolo si dovrà fare riferimento all'abaco estratto dalla norma e riportato in Figura 1;

(d) *Lunghezza massima dei rettifili:*

$$L_{\max} = 22 \cdot V_{p,\max}$$

dove V è la velocità massima dell'intervallo delle velocità del progetto, espressa in km/h ed L si ottiene in metri.

(e) *Lunghezza minima dei rettifili.*

La verifica è stata eseguita facendo riferimento alla tabella estratta dalla norma e riportata in Tabella 1; per velocità la norma intende la massima desunta dal diagramma di velocità per il rettifilo considerato.

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

TABELLA 1 – LUNGHEZZA MINIMA DEI RETTIFILI IN RELAZIONE ALLA VELOCITÀ

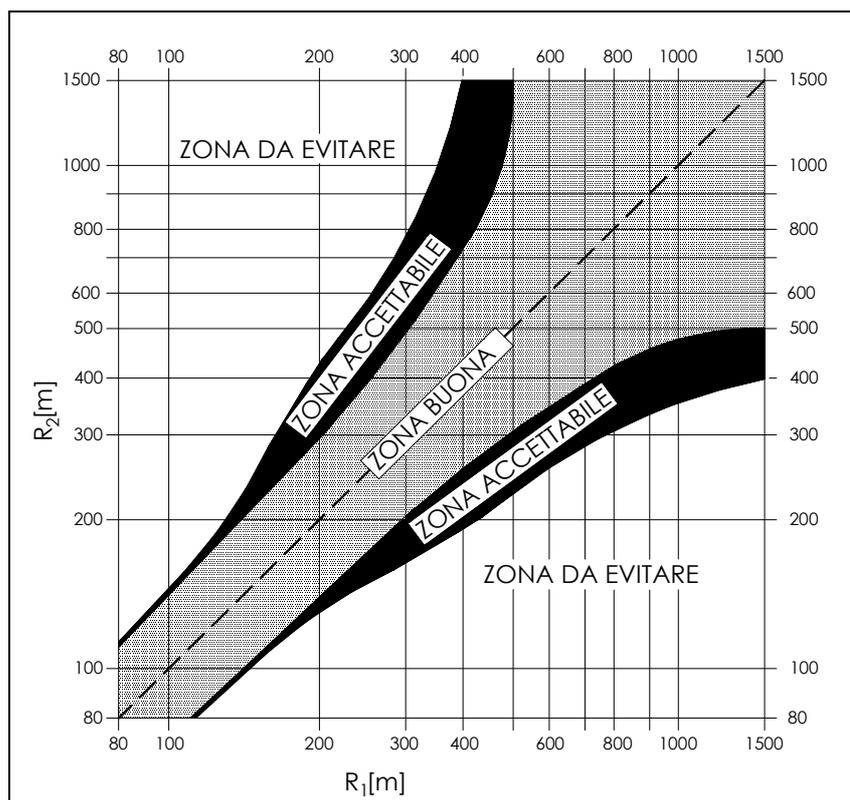


FIGURA 1 – ABACO DI KOPPEL (DM 05/ 11/01)

(f) *Congruenza del diagramma delle velocità.*

La norma prevede che per  $V_{p,max} \leq 100$  km/h (e quindi per strade tipo C e F) 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 (f1). Inoltre, fra due curve successive (nel caso di  $V_{p1} > V_{p2}$ ) tale differenza, comunque mai superiore a 20 km/h, è consigliabile che non superi i 15 km/h (f2).

La costruzione del diagramma di velocità lungo l'asse stradale è stata effettuata secondo quanto prescritto dal DM 05/11/2001 e di seguito riportato.

- La velocità è mantenuta costante lungo lo sviluppo delle curve con raggio inferiore a  $R_{2,5}$ ;
- la velocità varia crescendo verso la velocità massima dell'intervallo di progetto lungo i rettili, le clotoidi e gli archi con raggio non inferiore a  $R_{2,5}$ ;
- Il valore di accelerazione e decelerazione è pari a 0,8 m/s<sup>2</sup>. Tale valore è stato mantenuto invariato anche per i tratti in approccio alle intersezioni con schema a rotatoria.
- In corrispondenza delle rotatorie si è assunta una velocità di percorrenza pari a 30 km/h;
- La pendenza longitudinale non influenza la velocità di progetto.

(g) *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:

$$L_{c,min} = 2.5 \cdot v_p$$

con  $v_p$  in m/s ed  $L_{c,min}$  in m.

(h) *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:

$$A_{min} = \sqrt{\frac{v^3}{c} - \frac{gvR \cdot (q_f - q_i)}{c}}$$

dove:

- c = contraccolpo;
- v = massima velocità (m/s), desunta dal diagramma di velocità, per l'elemento di clotoide considerato;
- $q_i$  = pendenza trasversale nel punto iniziale della clotoide;
- $q_f$  = pendenza trasversale nel punto finale della clotoide;

- $g$  = accelerazione di gravità.

Ponendo  $c = \frac{14}{v(m/s)} = \frac{50.4}{V(km/h)}$  si ottiene:

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{v^4}{14} - \frac{gv^2R \cdot (q_f - q_i)}{14}} = \frac{v}{\sqrt{14}} \sqrt{v^2 - gR \cdot (q_f - q_i)}$$

che, esprimendo la velocità in km/h diviene:

$$A_{\min} = \frac{V}{3,6\sqrt{14}} \sqrt{\frac{V^2}{12,96} - gR \cdot (q_f - q_i)}$$

Il DM 6792/2001 propone, in alternativa, di effettuare il calcolo con una formula approssimata che non tiene conto della componente dell'accelerazione centripeta compensata dalla variazione di pendenza trasversale. L'espressione per il calcolo di  $A_{\min}$  diventa, in questo caso:

$$A_{\min} = \frac{V^2}{12,96\sqrt{14}} = 0.0206125 \cdot V^2 \cong 0.021 \cdot V^2$$

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

Nelle sezioni di estremità di un arco di clotoide la carreggiata stradale presenta differenti pendenze trasversali, che vanno raccordate 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 deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i_{\max}} \times 100 \times B_i |q_i + q_f|}$$

dove:

- $B_i$  = distanza fra l'asse di rotazione ed il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della curva a raggio variabile;
- $i_{\max}$  (%) = 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
- $q_f = \frac{i_{cf}}{100}$  con  $i_{cf}$  = pendenza trasversale finale
- $|q_i + q_f|$  è il valore assoluto della somma delle pendenze trasversali

Nel caso di curve di continuità il medesimo criterio diventa:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{B_i \cdot (|q_f| - |q_i|)}{\left(\frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_f}\right) \cdot \frac{\Delta i_{\max}}{100}}}$$

Criterio 3 (Ottico)

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

$$R/3 \leq A \leq R$$

che, nel caso di clotoidi di continuità, diventa:

$$R_2/3 \leq A \leq R_1$$

dove R1 è il raggio minore ed R2 il raggio maggiore dei due cerchi raccordati con la clotoide di continuità.

Oltre ai criteri precedentemente descritti si è proceduto alla verifica del rapporto AE/AU delle due clotoidi in ingresso e in uscita da una curva circolare e del rapporto A1/A2 tra due clotoidi in un flesso asimmetrico, secondo quanto prescritto dal D.M. 5/11/2001:

$$2/3 \leq A_E/A_U \leq 3/2 \quad 2/3 \leq A_1/A_2 \leq 3/2$$

### 3.2.2. Caratteristiche almetriche

La normativa di riferimento richiede il rispetto delle seguenti condizioni:

(i) *Pendenze longitudinali massime*

La pendenza massima delle livellette, consentita dal DM 05/11/01 per strade di tipo C (strade extraurbane secondarie), è pari al 7%.

La pendenza massima delle livellette, consentita dal DM 05/11/01 per strade di tipo F (strade extraurbane locali), è pari al 10%.

I suddetti valori della pendenza massima possono essere aumentati di una unità qualora, da una verifica da effettuare di volta in volta, risulti che lo sviluppo della livelletta sia tale da non penalizzare eccessivamente la circolazione, in termini di riduzione delle velocità e della qualità del deflusso.

(j) *Raccordi verticali convessi*

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

- se D è inferiore allo sviluppo L del raccordo si ha

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

– se invece  $D > L$

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

dove:

- $R_v$  = raggio del raccordo verticale convesso [m]
- $D$  = distanza di visibilità da realizzare per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso [m]
- $\Delta i$  = 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 necessaria per il cambiamento di corsia si pone  $h_2 = 1.10$  m.

### (k) *Raccordi verticali concavi*

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

se  $D$  è inferiore allo sviluppo del raccordo si ha

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

se invece  $D > L$

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

dove:

- $R_v$  = raggio del raccordo verticale concavo [m]
- $D$  = distanza di visibilità da realizzare per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso [m].
- $\Delta i$  = variazione di pendenza delle due livellette espressa in percento
- $h$  = altezza del centro dei fari del veicolo sul piano stradale
- $\vartheta$  = massima divergenza verso l'alto del fascio luminoso rispetto l'asse del veicolo.

Si pone di norma  $h = 0.5$  m e  $\vartheta = 1^\circ$ .

La distanza di visibilità per il sorpasso è stata calcolata analogamente a quanto descritto per la verifica dei raccordi verticali convessi.

### 3.2.3. Analisi di visibilità

Per distanza di visuale libera (DVL) si intende la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé senza considerare l'influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada.

Secondo quanto indicato dalle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (DM 05/11/2001, prot. N° 6792), lungo il tracciato stradale la distanza di visuale libera deve essere confrontata, nel caso di strade ad unica carreggiata, con le seguenti distanze:

- **Distanza di visibilità per l'arresto**, che è pari allo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto. Questo valore deve essere garantito lungo lo sviluppo del tracciato.
- **Distanza di visibilità per la manovra di sorpasso**, che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per compiere una manovra completa di sorpasso in sicurezza, quando non si possa escludere l'arrivo di un veicolo in senso opposto.

La verifica di visibilità per l'arresto consiste nel confrontare le distanze di visuale libera per l'arresto (determinate lungo l'intero sviluppo del tracciato sia in corsia di sorpasso che in corsia di marcia lenta adottando un'altezza dell'occhio del guidatore a 1.10 m dal piano viabile ed un'altezza dell'ostacolo fisso di 0.10 m e collocando trasversalmente i punti di vista e di mira al centro della corsia) con le distanze di visuale libera per l'arresto calcolate in funzione del diagramma di velocità del tracciato ed del suo andamento altimetrico (variazione della pendenza longitudinale)

Il valore di aderenza adottato nel calcolo delle distanze di arresto è quello proposto dal D.M. 5/11/2001 (e precisati nello stesso testo della norma stessa, vedi anche Tabella 2), riferito a condizioni di strada bagnata.

| VELOCITA' (km/h) | 25   | 40   | 60   | 80   | 100  | 120  | 140 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|-----|
| $f_l$            | 0.45 | 0.43 | 0.35 | 0.30 | 0.25 | 0.21 | -   |

TABELLA 2 – DM 6792/2001, COEFFICIENTI DI ADERENZA IMPEGNABILE LONGITUDINALMENTE

Per il calcolo è stata utilizzata la formula riportata al paragrafo 5.1.2. del DM 05/11/2001. Si è valutata la distanza di arresto punto per punto (passo 10 metri) in funzione della velocità di progetto (secondo quanto specificato in precedenza) e della pendenza longitudinale con la seguente espressione:

$$D_A = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3,6} \times \tau - \frac{1}{3,6^2} \int_{V_0}^{V_1} \frac{V}{g \times \left[ f_l(V) \pm \frac{i}{100} \right] + \frac{Ra(V)}{m} + r_0(V)} dV \quad [m]$$

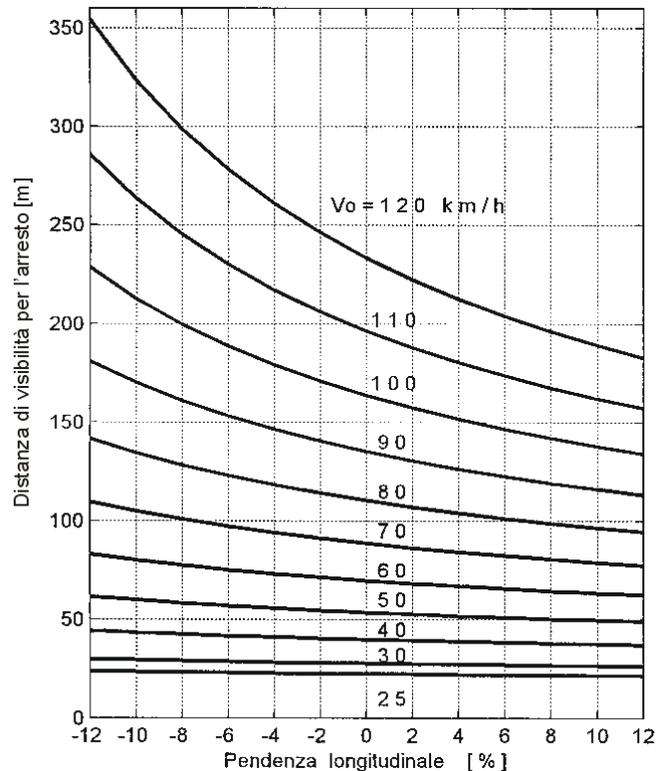
dove:

- D1 = spazio percorso nel tempo  $\tau$
- D2 = spazio di frenatura
- V0 = velocità del veicolo all'inizio della frenatura [km/h]
- V1 = velocità finale del veicolo, in cui V1 = 0 in caso di arresto [km/h]
- i = pendenza longitudinale del tracciato [%]
- $\tau$  = tempo complessivo di reazione (percezione, riflessione, reazione e attuazione) [s]
- g = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>]
- Ra = resistenza aerodinamica [N]
- m = massa del veicolo [kg]
- fl = quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura
- r0 = resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile [N/kg]

Per il tempo complessivo di reazione si sono assunti valori linearmente decrescenti con la velocità da 2,6 s per 20 km/h, a 1,4 s per 140 km/h, in considerazione della attenzione più concentrata alle alte velocità:

$$\tau = (2,8 - 0,01V) \quad [s] \quad \text{con } V \text{ in km/h}$$

Il D.M. 5/11/2001 definisce un abaco di correlazione tra la pendenza longitudinale e la distanza di arresto valido in condizione di pendenza costante. Nei tratti di variabilità di detta pendenza, ovvero in corrispondenza dei raccordi verticali, è stato assunto per essa il valore medio, così come suggerito dalla stessa normativa.



### 3.2.4. Rappresentazione dei risultati

I risultati delle analisi sono riportati in forma tabulare nel capitolo che segue ed in forma grafica sintetica negli elaborati specifici allegati al presente progetto definitivo, nei quali sono riassunti, in funzione dello sviluppo longitudinale della strada, le seguenti informazioni:

- progressive;
- distanze ettometriche;
- andamento planimetrico;
- andamento altimetrico (profilo longitudinale);
- diagramma delle distanze di visuale libera e di visibilità per l'arresto e per il sorpasso per entrambi i sensi di marcia;
- diagramma delle velocità di progetto costruito secondo quanto prescritto dal D.M. 05/11/2001;
- rappresentazione grafica delle situazioni a norma (tratti in verde), fuori norma (tratti in rosso).

## 4. RISULTATI DELLE VERIFICHE DI CONGRUENZA CON LE NORMATIVE DI RIFERIMENTO

### 4.1. Assi stradali

Nel seguito si riportano i risultati delle analisi di congruenza del progetto stradale rispetto ai criteri indicati nella normativa di riferimento DM 05/11/2001 condotte per il solo asse principale "A" che costituisce la cosiddetta Variante S.P. 16 Tangenziale Zelo Buon Persico.

Per gli altri assi non è stata condotta la verifica trattandosi per lo più dell'adeguamento a raso di brevi tratti di strade esistenti che si configurano come rami d'innesto alle rotatorie che sottendono tratti di raccordo per l'inserimento dell'isola divisionale.

#### 4.1.1. Andamento planimetrico

Nelle tabelle a seguire vengono sintetizzati i risultati della verifica delle caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono gli assi stradali condotte per il solo asse principale .

| CONTROLLO NORMATIVA                          |  | Pagina Nr. 1   |                 |  |                  |
|--|--|----------------|-----------------|--|------------------|
| <b>Dati generali</b>                         |  | <b>Minimo</b>  | <b>Massimo</b>  |  |                  |
| Normativa: Min. LLPP 2002 - Italia           |  |                |                 |  |                  |
| Asse: DST01-Sottopasso Orologi               |  |                |                 |  |                  |
| Tipo di strada: F2 - Locali Extraurbane      |  |                |                 |  |                  |
| Larghezza semicarreggiata (m)                |  | 3.250          |                 |  |                  |
| Velocità progetto (Km/h)                     |  | 40             | 60              |  |                  |
| <b>Rettifilo n°1 - Lunghezza (m):152.110</b> |  | <b>Lung.</b>   | <b>Lung.</b>    |  | <b>Parametri</b> |
| <b>Progressiva</b>                           |  |                |                 |  | <b>0.000</b>     |
| Lunghezza minima (m)                         |  | 50.000         |                 |  |                  |
| Lunghezza massima (m)                        |  |                | 1320.000        |  |                  |
| <b>Valori minimi/massimi da normativa</b>    |  | <b>50.000</b>  | <b>1320.000</b> |  |                  |
| <b>Rettifilo in normativa</b>                |  | <b>152.110</b> |                 |  |                  |

#### **4.1.2. Andamento altimetrico**

La pendenza longitudinale delle livellette dell' asse in esame risulta sempre inferiore al valore massimo indicato dalla normativa che prescrive per strade di categoria F – strade extraurbane locali di non eccedere il 10%.

Nelle tabelle a seguire vengono riportati i risultati della verifica della distanza di visibilità per l'arresto per i raccordi verticali, effettuata con riferimento alla velocità desunta dal diagramma di velocità dell'asse stradale.

| CONTROLLO NORMATIVA   |                   | Pagina Nr.       |                  | 1              |
|---|-------------------|------------------|------------------|----------------|
| <b>Dati generali</b>  |                   |                  |                  |                |
| Tipo di strada:F2 - Locali Extraurbane  | <b>Minimo</b>     | <b>Massimo</b>   |                  |                |
| Larghezza semicarreggiata (m)   | 3.250             |                  |                  |                |
| Velocità progetto (Km/h)  | 40                | 60               |                  |                |
| <b>Livelletta n°1 - Pendenza (h/b):-2.000%</b>  |                   |                  |                  |                |
| <b>Progressiva</b>  | <b>Pend. Max</b>  |                  | <b>Parametri</b> | <b>0.000</b>   |
| Pendenza massima (+/- h/b):   | 10.000%           |                  |                  |                |
| <b>Livelletta in normativa</b>  | <b>-2.000%</b>    |                  |                  |                |
| <b>Parabola n°1 - Raggio (m):500.000 - Lunghezza (m):1 0.000 - K:5.000 (Convesso)</b>   |                   |                  |                  |                |
| <b>Progressiva</b>  | <b>Raggio Min</b> | <b>Lung. Min</b> | <b>Parametri</b> | <b>4.099</b>   |
| Distanza utilizzata   |                   |                  |                  | 32.990         |
| Velocità utilizzata per la verifica (km/h)  |                   |                  |                  | 33             |
| Raggio minimo da visibilità   | 0.000             |                  |                  |                |
| Raggio minimo comfort accelerazione verticale   | 142.171           |                  |                  |                |
| <b>Parabola in normativa</b>  | <b>500.000</b>    |                  |                  |                |
| <b>Livelletta n°2 - Pendenza (h/b):-4.000%</b>  |                   |                  |                  |                |
| <b>Progressiva</b>  | <b>Pend. Max</b>  |                  | <b>Parametri</b> | <b>14.099</b>  |
| Pendenza massima (+/- h/b):   | 10.000%           |                  |                  |                |
| <b>Livelletta in normativa</b>  | <b>-4.000%</b>    |                  |                  |                |
| <b>Parabola n°2 - Raggio (m):650.000 - Lunghezza (m):2 6.000 - K:6.500 (Concavo)</b>    |                   |                  |                  |                |
| <b>Progressiva</b>  | <b>Raggio Min</b> | <b>Lung. Min</b> | <b>Parametri</b> | <b>25.699</b>  |
| Distanza utilizzata   |                   |                  |                  | 43.890         |
| Velocità utilizzata per la verifica (km/h)  |                   |                  |                  | 42             |
| Raggio minimo da visibilità   | 612.011           |                  |                  |                |
| Raggio minimo comfort accelerazione verticale   | 225.914           |                  |                  |                |
| <b>Parabola in normativa</b>  | <b>650.000</b>    |                  |                  |                |
| <b>Livelletta n°3 - Pendenza (h/b):0.000%</b>   |                   |                  |                  |                |
| <b>Progressiva</b>  | <b>Pend. Max</b>  |                  | <b>Parametri</b> | <b>51.699</b>  |
| Pendenza massima (+/- h/b):   | 10.000%           |                  |                  |                |
| <b>Livelletta in normativa</b>  | <b>0.000%</b>     |                  |                  |                |
| <b>Parabola n°3 - Raggio (m):1000.000 - Lunghezza (m): 18.000 - K:10.000 (Convesso)</b> |                   |                  |                  |                |
| <b>Progressiva</b>  | <b>Raggio Min</b> | <b>Lung. Min</b> | <b>Parametri</b> | <b>101.247</b> |
| Distanza utilizzata   |                   |                  |                  | 67.108         |



| CONTROLLO NORMATIVA  |                   |                  |  | Pagina Nr.       | 2              |
|--|-------------------|------------------|--|------------------|----------------|
| Velocità utilizzata per la verifica (km/h)   |                   |                  |  |                  | 57             |
| Raggio minimo da visibilità  | 0.000             |                  |  |                  |                |
| Raggio minimo comfort accelerazione verticale  | 424.812           |                  |  |                  |                |
| <b>Parabola in normativa</b>   | <b>1000.000</b>   |                  |  |                  |                |
| <b>Livelletta n°4 - Pendenza (h/b):-1.800%</b>   | <b>Pend. Max</b>  |                  |  | <b>Parametri</b> |                |
| <b>Progressiva</b>   |                   |                  |  |                  | <b>119.247</b> |
| Pendenza massima (+/- h/b):  | 10.000%           |                  |  |                  |                |
| <b>Livelletta in normativa</b>   | <b>-1.800%</b>    |                  |  |                  |                |
| <b>Parabola n°4 - Raggio (m):1000.000 - Lunghezza (m): 17.011 - K:10.000 (Concavo)</b> | <b>Raggio Min</b> | <b>Lung. Min</b> |  | <b>Parametri</b> |                |
| <b>Progressiva</b>   |                   |                  |  |                  | <b>121.251</b> |
| Distanza utilizzata  |                   |                  |  |                  | 71.537         |
| Velocità utilizzata per la verifica (km/h)   |                   |                  |  |                  | 60             |
| Raggio minimo da visibilità  | 0.000             |                  |  |                  |                |
| Raggio minimo comfort accelerazione verticale  | 462.963           |                  |  |                  |                |
| <b>Parabola in normativa</b>   | <b>1000.000</b>   |                  |  |                  |                |
| <b>Livelletta n°5 - Pendenza (h/b):-0.099%</b>   | <b>Pend. Max</b>  |                  |  | <b>Parametri</b> |                |
| <b>Progressiva</b>   |                   |                  |  |                  | <b>138.262</b> |
| Pendenza massima (+/- h/b):  | 10.000%           |                  |  |                  |                |
| <b>Livelletta in normativa</b>   | <b>-0.099%</b>    |                  |  |                  |                |

#### **4.1.3. Verifiche di visibilità**

La definizione dell'asse stradale ha seguito un percorso iterativo di successivi affinamenti finalizzati all'ottimizzazione del progetto in relazione:

- Alla congruenza geometrica degli elementi componenti il tracciato, sia per quanto riguarda la loro successione, sia per gli aspetti cinematici che regolano le effettive velocità di percorrenza dell'asse;
- Alla verifica delle visuali libere, attraverso la definizione degli opportuni allargamenti in curva.

In pratica, si è proceduto prima ad uno studio per l'ottimizzazione della composizione degli elementi del tracciato in modo tale che fossero coordinati e compatibili con le velocità di progetto, successivamente si è proceduto all'analisi delle visuali libere confrontando le distanze minime da garantire lungo il tracciato in base al diagramma di velocità e all'andamento altimetrico, confrontate con quelle effettivamente disponibili e calcolate. La verifica da esisto positivo se la distanza minima calcolata è minore di quella disponibile. Di conseguenza sono state identificate le criticità di ostacolo e quindi definiti gli opportuni allargamenti della piattaforma stradale.

Questo processo è stato sviluppato per ogni curva del tracciato, su entrambe le direttrici di marcia.

La verifica delle visuali libere è stata sviluppata mediante l'utilizzo di un applicativo Autocad che, partendo da un modello 3D della strada, comprensivo degli ostacoli fissi limitanti la visibilità è in grado di stimare le distanze di visuali disponibili, valutando di fatto gli effetti combinati dell'andamento planimetrico e dell'altimetria del tracciato ai fini della percezione che l'utente ha della strada. Il programma traccia tutti i raggi di visione a partire dall'asse della singola corsia, arrestandole in corrispondenza del primo ostacolo incontrato, sia esso il pavimentato od un ostacolo posizionato marginalmente alla carreggiata. Di seguito, in base al diagramma di velocità ed all'andamento altimetrico, il programma calcola le relative distanze minime da garantire lungo il tracciato, che saranno confrontate con quelle effettivamente disponibili e calcolate secondo il procedimento grafico esposto prima.

Per quanto concerne l'asse principale, in termini di visibilità planoaltimetrica la distanza di visuale libera risulta sempre compatibile con la distanza necessaria per l'arresto.