




Comune di Parma

**Progetto per una linea di T.R.M. nella città di Parma tra la stazione RFI ed il Campus universitario (cfr. AVVISO 3 - Comunicato n.1 del MIT per interventi finanziabili dallo Stato nel settore del Trasporto Rapido di Massa).**

**Relazione riportante i risultati dello studio di trazione e del dimensionamento elettrico del sistema**

|      |                |      |          |       |          |      |                 |
|------|----------------|------|----------|-------|----------|------|-----------------|
| DOC. | <b>PR1Fi03</b> | REV. | <b>A</b> | SCALA | <b>-</b> | FILE | <b>PR1Fi03A</b> |
|------|----------------|------|----------|-------|----------|------|-----------------|


|   |   |           |             |            |             |
|---|---|-----------|-------------|------------|-------------|
| <b>Sintagma</b><br>Progettazione infrastruttura stradale<br>Integrazione prestazioni specialistiche | <b>SMTSP</b><br>SOCIETÀ PER LA MOBILITÀ ED IL TRASPORTO PUBBLICO<br>Progettazione sistema trazione elettrica  |           |             |            |             |
| <b>TPS PRO</b><br>Analisi trasportistica  | <b>TEP</b> S.p.A.<br>Consulenza materiale rotabile  |           |             |            |             |
| <b>ptsclas</b><br>Analisi costi benefici  | <b>SATFERR S.r.l.</b><br>European Railway Service<br>Progettazione sistema di alimentazione   |           |             |            |             |
| <b>STUDIO INGEGNERIA GENNARI</b><br>Consulenza progettazione strutturale                            | <br>ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PARMA<br>INGEGNERE JUNIOR<br>Metter, Porreca<br>Giurea<br>Sezione B<br>N° 154B<br>Settore Industriale |           |             |            |             |
|   |   |           |             |            |             |
| A   | 17/01/25  | Emissione | G. Cosulich | M. Porreca | M. Porreca  |
| REVISIONE   | DATA  | OGGETTO   | REDATTO     | VERIFICATO | AUTORIZZATO |

|   |   |                       |
|---|---|-----------------------|
| <br>Comune di Parma | Progetto per una linea di T.R.M. nella città di Parma tra la stazione RFI ed il Campus universitario (cfr. AVVISO 3 - Comunicato n.1 del MIT per interventi finanziabili dallo Stato nel settore del Trasporto Rapido di Massa) | Documento n° PR1Fi03A |
|   |   | Foglio 2 di 10        |

## Sommario

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Introduzione .....  | 3  |
| 1.1 | Norme e Standard.....   | 3  |
| 1.2 | Documenti di riferimento .....  | 3  |
| 1.3 | Acronimi.....   | 3  |
| 2   | Risultati delle Simulazioni .....   | 4  |
| 2.1 | Tensioni di Linea .....   | 4  |
| 2.2 | Corrente nel bifilare .....   | 7  |
| 2.3 | Corrente negli alimentatori di SSE e negli alimentatori di rinforzo ..... | 7  |
| 2.4 | Carico delle SSE .....  | 8  |
| 2.5 | Diagrammi di Marcia dei Filobus .....                                     | 8  |
| 3   | Conclusioni.....  | 10 |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  | Progettazione infrastruttura stradale<br>Integrazione prestazioni specialistiche |  | Progettazione sistema trazione elettrica |
|  | Analisi trasportistica   |  | Consulenza materiale rotabile            |
|  | Analisi costi benefici   |  | Progettazione sistema di alimentazione   |
| STUDIO INGEGNERIA<br>GENNARI   | Consulenza progettazione strutturale   |  |  |

|   |   |                       |
|---|---|-----------------------|
| <br>Comune di Parma | Progetto per una linea di T.R.M. nella città di Parma tra la stazione RFI ed il Campus universitario (cfr. AVVISO 3 - Comunicato n.1 del MIT per interventi finanziabili dallo Stato nel settore del Trasporto Rapido di Massa) | Documento n° PR1Fi03A |
|   |   | Foglio 3 di 10        |

## 1 Introduzione

Il presente documento riassume i risultati dello studio di trazione della nuova Filovia di Parma dalla Stazione FS al Campus Universitario, alimentata a 600 [V] in corrente continua.

Sulla linea è presente una sezione in cui i veicoli procedono in marcia autonoma alimentati dal sistema di accumulo di energia presente a bordo. Tale sezione di linea non è oggetto di questo studio.

Lo studio di trazione non è finalizzato al dimensionamento del sistema di accumulo di energia a bordo del veicolo, ma al dimensionamento del sistema di alimentazione in corrente continua della linea filoviaria. La presenza del sistema di accumulo a bordo dei veicoli è presa in considerazione in maniera cautelativa aggiungendo durante l'intera missione del veicolo un carico costante che emula l'assorbimento del caricabatterie.

### 1.1 Norme e Standard

| Riferimento | Codice         | Titolo   | Data    |
|-------------|----------------|--|---------|
| Std. 1      | CEI EN 50122-1 | Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi - Sicurezza elettrica, messa a terra e circuito di ritorno Parte 1: Provvedimenti di protezione contro lo shock elettrico  | 2012-08 |
| Std. 2      | CEI EN 50163   | Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane -Tensioni di alimentazione dei sistemi di trazione  | 2006-10 |
| Std. 3      | CEI EN 50388   | Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane -Alimentazione elettrica e materiale rotabile - Criteri tecnici per il coordinamento tra alimentazione elettrica (sottostazione) e materiale rotabile per ottenere l'interoperabilità | 2012-08 |
| Std. 4      | CEI EN 50119   | Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi - Linee aeree di contatto per trazione elettrica   | 2010-05 |

### 1.2 Documenti di riferimento

| Riferimento | Ambito | Codice/Descrizione   |
|-------------|--------|--|
| [Rif.1]     |        | PR1Fi02 Relazione descrittiva del sistema e dei dati di in-put |

### 1.3 Acronimi

|     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| DC  | Direct Current (Corrente Continua) |
| SSE | Sottostazione Elettrica            |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  | Progettazione infrastruttura stradale<br>Integrazione prestazioni specialistiche |  | Progettazione sistema trazione elettrica |
|  | Analisi trasportistica   |  | Consulenza materiale rotabile            |
|  | Analisi costi benefici   |  | Progettazione sistema di alimentazione   |
|  | Consulenza progettazione strutturale   |  |  |

## 2 Risultati delle Simulazioni

Il presente capitolo riporta i risultati delle simulazioni, i cui dati di input sono riportati nel documento [Rif.1].

### 2.1 Tensioni di Linea

La Tabella 1 riporta i valori minimi della tensione di linea misurati in corrispondenza della posizione dei treni e riscontrati durante le simulazioni al variare del sincronismo dei treni. La tensione di linea rispetta i limiti previsti dalla normativa ed è sempre maggiore del valore di 435 [V] previsto come valore minimo di funzionamento dei veicoli.

| Sincronismo [s] | Tensione Minima Linea |              |
|-----------------|-----------------------|--------------|
|                 | Posizione [m]         | Tensione [V] |
| 0               | 100                   | 530          |
| 30              | 100                   | 521          |
| 60              | 5700                  | 485          |
| 90              | 800                   | 528          |
| 120             | 100                   | 540          |
| 150             | 6400                  | 535          |
| 180             | 6400                  | 526          |
| 210             | 7800                  | 502          |
| 240             | 4600                  | 493          |
| 270             | 4800                  | 510          |

Tabella 1: Tensione minima di linea

Le seguenti figure mostrano l'andamento delle tensioni lungo linea in funzione del sincronismo dei veicoli. Le figure sono state costruite utilizzando i valori delle tensioni e dei potenziali in corrispondenza della posizione di tutti i treni durante la simulazione; i campioni sono stati raggruppati per tratte di linea elementari della lunghezza di 100 [m]. La tensione di linea in una determinata posizione può essere differente negli istanti temporali in cui non è presente alcun treno.

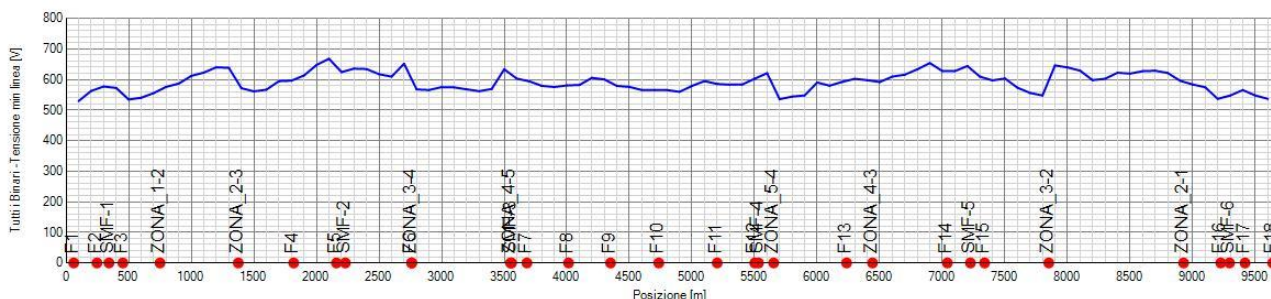


Figura 1: tensione di linea, sincronismo 0 [s]

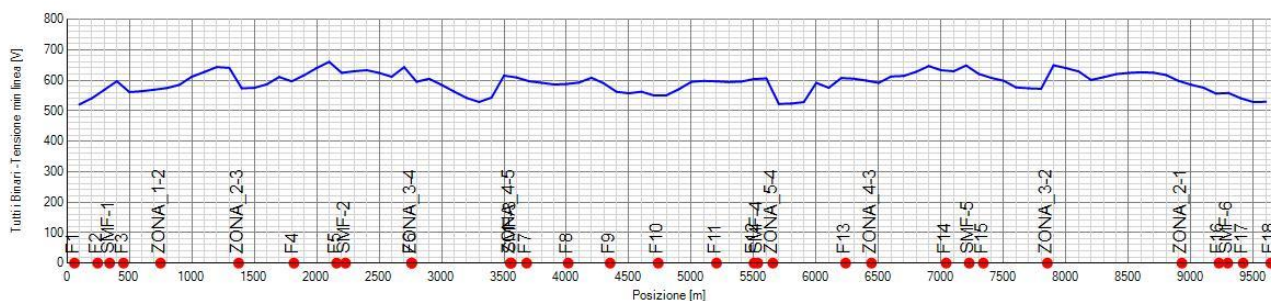


Figura 2: tensione di linea, sincronismo 30 [s]

|  |  |   |
|--|--|---|
|  | Progettazione infrastruttura stradale<br>Integrazione prestazioni specialistiche | Progettazione sistema trazione elettrica  |
|  | Analisi trasportistica   |  Consulenza materiale rotabile          |
|  | Analisi costi benefici   |  Progettazione sistema di alimentazione |
|  | Consulenza progettazione strutturale   |   |

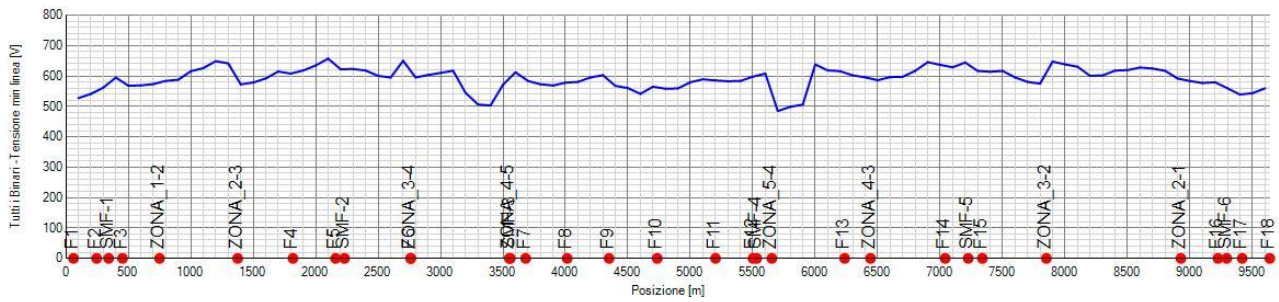


Figura 3: tensione di linea, sincronismo 60 [s]

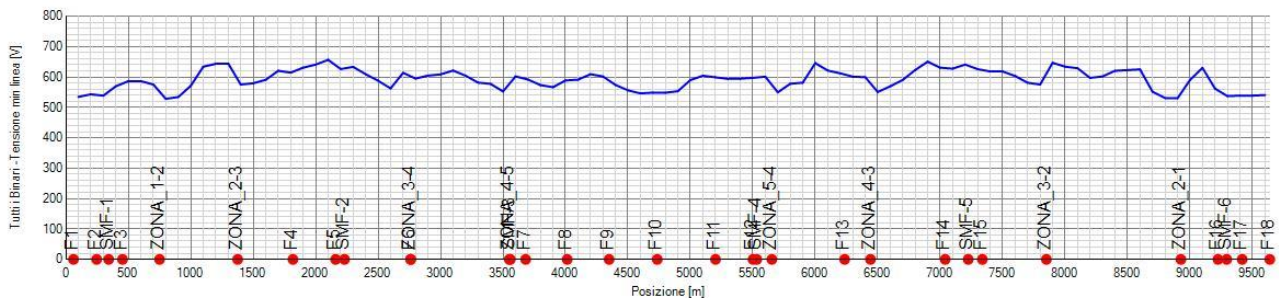


Figura 4: tensione di linea, sincronismo 90 [s]

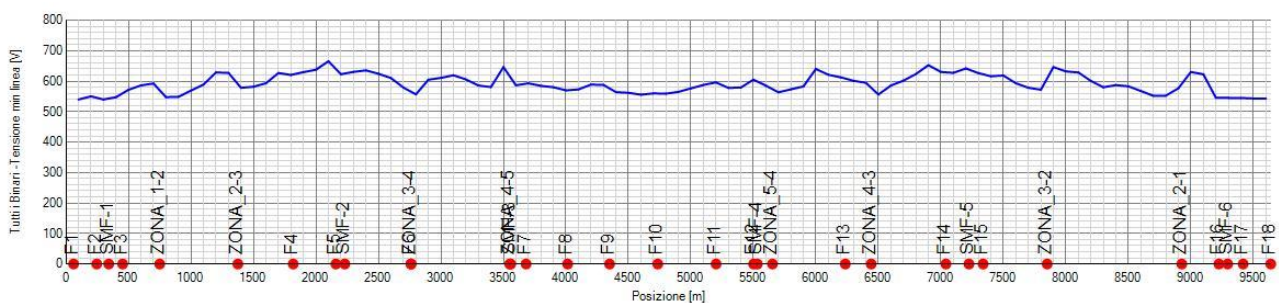


Figura 5: tensione di linea, sincronismo 120 [s]

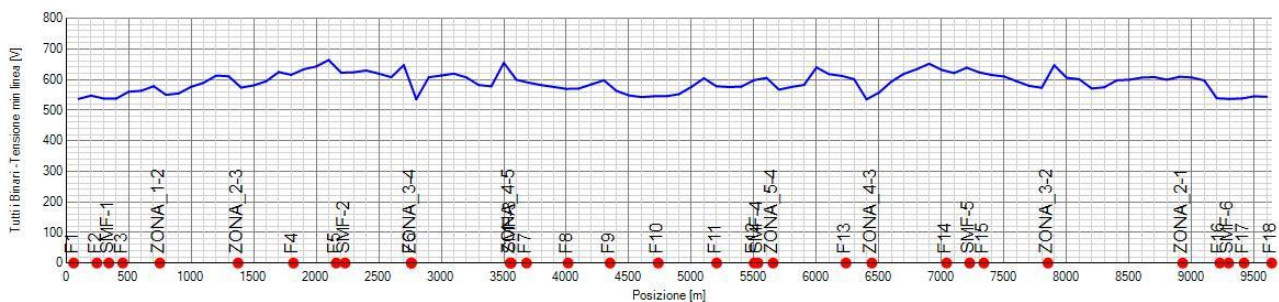


Figura 6: tensione di linea, sincronismo 150 [s]



Progettazione infrastruttura stradale  
Integrazione prestazioni specialistiche

Progettazione sistema trazione elettrica



Analisi trasportistica



Consulenza materiale rotabile



Analisi costi benefici



Progettazione sistema di alimentazione



Consulenza progettazione strutturale

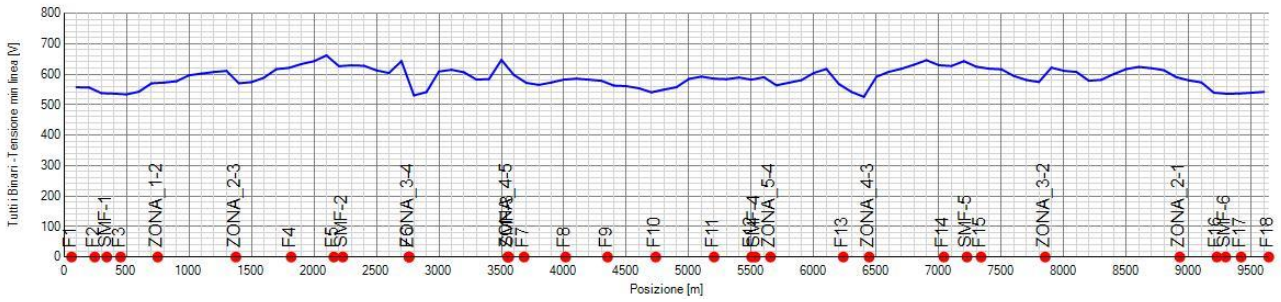


Figura 7: tensione di linea, sincronismo 180 [s]

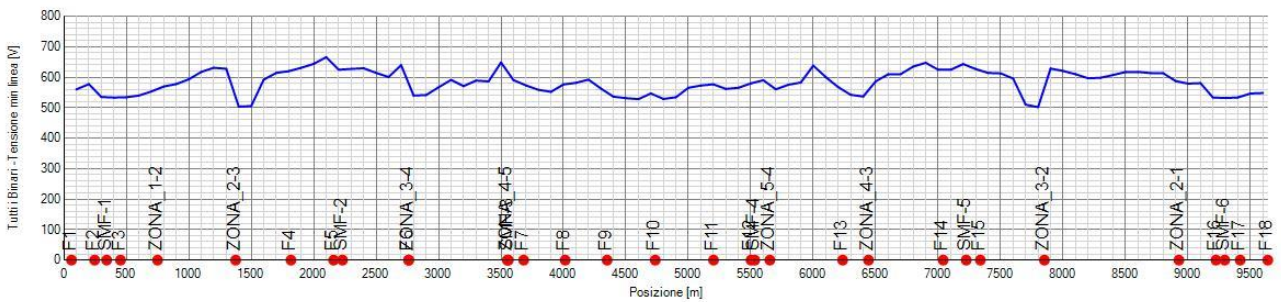


Figura 8: tensione di linea, sincronismo 210 [s]

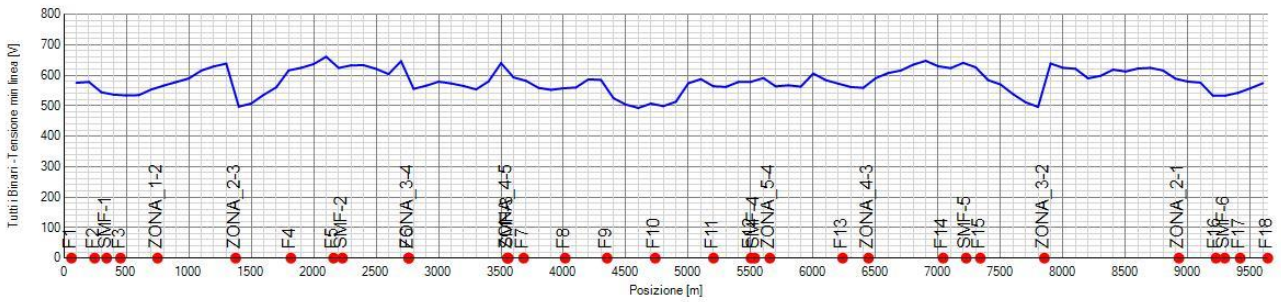


Figura 9: tensione di linea, sincronismo 240 [s]

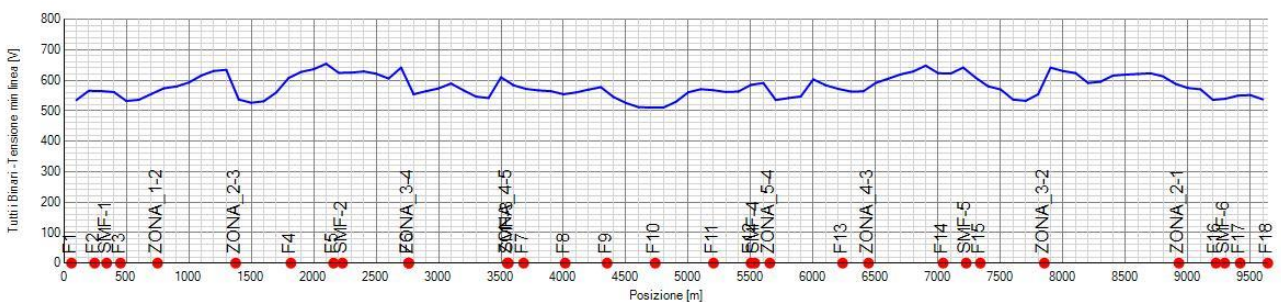


Figura 10: tensione di linea, sincronismo 270 [s]



Progettazione infrastruttura stradale  
Integrazione prestazioni specialistiche

Progettazione sistema trazione elettrica



Analisi trasportistica



Consulenza materiale rotabile



Analisi costi benefici



Progettazione sistema di alimentazione



Consulenza progettazione strutturale

## 2.2 Corrente nel bifilare

La seguente tabella riporta i valori massimo della corrente nel filo di contatto, che sono sempre inferiori alla portata di 372 [A] del filo a 80 [°C], riportata al paragrafo 6.3 del documento [Rif.1].

| Sincronismo [s] | Corrente [A] |                   |                    |                    |
|-----------------|--------------|-------------------|--------------------|--------------------|
|                 | Max          | Max RMS su 60 [s] | Max RMS su 300 [s] | Max RMS su 420 [s] |
| 0               | 749          | 479               | 233                | 273                |
| 30              | 750          | 474               | 226                | 260                |
| 60              | 743          | 372               | 196                | 226                |
| 90              | 729          | 361               | 187                | 216                |
| 120             | 709          | 371               | 189                | 209                |
| 150             | 603          | 331               | 201                | 219                |
| 180             | 714          | 421               | 212                | 237                |
| 210             | 717          | 449               | 249                | 273                |
| 240             | 748          | 461               | 260                | 290                |
| 270             | 731          | 473               | 285                | 319                |

Tabella 2: Corrente nel bifilare

## 2.3 Corrente negli alimentatori di SSE e negli alimentatori di rinforzo

La seguente tabella riporta il valore peggiore tra tutte le simulazioni in funzione del sincronismo dei treni della corrente negli alimentatori di SSE e nei cavi di rinforzo in parallelo al bifilare. Sono riportati i valori minimi e massimi e il massimo valore RMS calcolato sul tempo di cadenzamento. Il massimo valore RMS della corrente, calcolato in un intervallo temporale pari al cadenzamento, è sempre inferiore alla portata a regime dei cavi.

| Nome  | Tipo                             | Min   | Max  | Max RMS 300 [s] |
|-------|----------------------------------|-------|------|-----------------|
| J1    | Interruttore di SSE              | 0     | 1000 | 569             |
| J2    | Interruttore di SSE              | 0     | 1000 | 338             |
| J3    | Interruttore di SSE              | 0     | 1000 | 634             |
| J4    | Interruttore di SSE              | 0     | 1000 | 500             |
| J5    | Interruttore di SSE              | 0     | 1303 | 872             |
| A1+   | Alimentatore positivo 2x1x400 Cu | 0     | 1000 | 569             |
| A1+   | Alimentatore positivo 2x1x400 Cu | 0     | 794  | 248             |
| A1-A+ | Alimentatore positivo 2x1x400 Cu | 0     | 822  | 354             |
| A2+   | Alimentatore positivo 2x1x400 Cu | 0     | 1000 | 338             |
| A2+   | Alimentatore positivo 2x1x400 Cu | 0     | 627  | 127             |
| A2-A+ | Alimentatore positivo 2x1x400 Cu | 0     | 868  | 251             |
| A3+   | Alimentatore positivo 2x1x400 Cu | 0     | 1000 | 634             |
| A3-A+ | Alimentatore positivo 2x1x400 Cu | 0     | 955  | 454             |
| A3-B+ | Alimentatore positivo 2x1x400 Cu | 0     | 859  | 317             |
| A4+   | Alimentatore positivo 2x1x400 Cu | 0     | 1000 | 500             |
| A5+   | Alimentatore positivo 4x1x400 Cu | 0     | 1303 | 872             |
| A5-A+ | Alimentatore positivo 2x1x400 Cu | 0     | 1023 | 386             |
| A5-B+ | Alimentatore positivo 2x1x400 Cu | 0     | 596  | 284             |
| A5-C  | Alimentatore positivo 2x1x400 Cu | 0     | 639  | 312             |
| A1-   | Alimentatore negativo 2x1x400 Cu | -1000 | 0    | 569             |
| A1-A- | Alimentatore negativo 2x1x400 Cu | -794  | 0    | 248             |
| A1-A- | Alimentatore negativo 2x1x400 Cu | -822  | 0    | 354             |
| A2-   | Alimentatore negativo 2x1x400 Cu | -1000 | 0    | 338             |
| A2-   | Alimentatore negativo 2x1x400 Cu | -627  | 0    | 127             |
| A2-A- | Alimentatore negativo 2x1x400 Cu | -868  | 0    | 251             |
| A3-   | Alimentatore negativo 2x1x400 Cu | -1000 | 0    | 634             |
| A3-A- | Alimentatore negativo 2x1x400 Cu | -955  | 0    | 454             |
| A3-B- | Alimentatore negativo 2x1x400 Cu | -859  | 0    | 317             |

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
|  Sintagma                     | Progettazione infrastruttura stradale<br>Integrazione prestazioni specialistiche |   | Progettazione sistema trazione elettrica |
|  TPS PRO                      | Analisi trasportistica   |  TEP            | Consulenza materiale rotabile            |
|  ptsclas                      | Analisi costi benefici   |  SATFERR S.r.l. | Progettazione sistema di alimentazione   |
|  STUDIO INGEGNERIA<br>GENNARI | Consulenza progettazione strutturale   |   |  |

| Nome  | Tipo                             | Min   | Max | Max RMS 300 [s] |
|-------|----------------------------------|-------|-----|-----------------|
| A4-   | Alimentatore negativo 2x1x400 Cu | -1000 | 0   | 500             |
| A5-   | Alimentatore negativo 4x1x400 Cu | -1303 | 0   | 872             |
| A5-A- | Alimentatore negativo 2x1x400 Cu | -1023 | 0   | 386             |
| A5-B- | Alimentatore negativo 2x1x400 Cu | -596  | 0   | 284             |
| A5-C- | Alimentatore negativo 2x1x400 Cu | -639  | 0   | 312             |

Tabella 3: corrente nei cavi

## 2.4 Carico delle SSE

La seguente tabella riporta rispettivamente gli assorbimenti dei raddrizzatori sulla rete in media tensione e il valore RMS della corrente alle sbarre in corrente continua su un intervallo pari al cadenzamento di 300 [s] e il relativo valore di picco. I valori sono i maggiori tra tutte le simulazioni al variare del sincronismo dei treni. Il valore RMS della corrente è inferiore alla corrente nominale del raddrizzatore il valore di picco della corrente assorbita è inferiore al 200 [%] del valore nominale.

| Raddrizzatore   | Variabile                        | Medio | Max  | Max RMS su 300 [s] |
|-----------------|----------------------------------|-------|------|--------------------|
| Raddrizzatore 1 | Potenza Attiva Primario [kW]     | 1599  | 2252 | 1639               |
|                 | Potenza Reattiva primario [kVAR] | 490   | 833  | 515                |
|                 | Potenza Apparente Primario [kVA] | 1673  | 2401 | 1718               |
|                 | Potenza DC [kW]                  | 1514  | 2134 | 1552               |
|                 | Corrente DC [A]                  | 2267  | 3262 | 2328               |
| Raddrizzatore 1 | Potenza Attiva Primario [kW]     | 0     | 0    | 0                  |
|                 | Potenza Reattiva primario [kVAR] | 0     | 0    | 0                  |
|                 | Potenza Apparente Primario [kVA] | 0     | 0    | 0                  |
|                 | Potenza DC [kW]                  | 0     | 0    | 0                  |
|                 | Corrente DC [A]                  | 0     | 0    | 0                  |

Tabella 4: Risultati della SSE

## 2.5 Diagrammi di Marcia dei Filobus

Le seguenti figure mostrano i profili di marcia e di assorbimento dei veicoli nel caso di sincronismo pari a 0 [s]. Si può notare un leggero degrado delle prestazioni rispetto ai profili con tensione ideale riportati nel Capitolo 5 del documento [Rif.1].

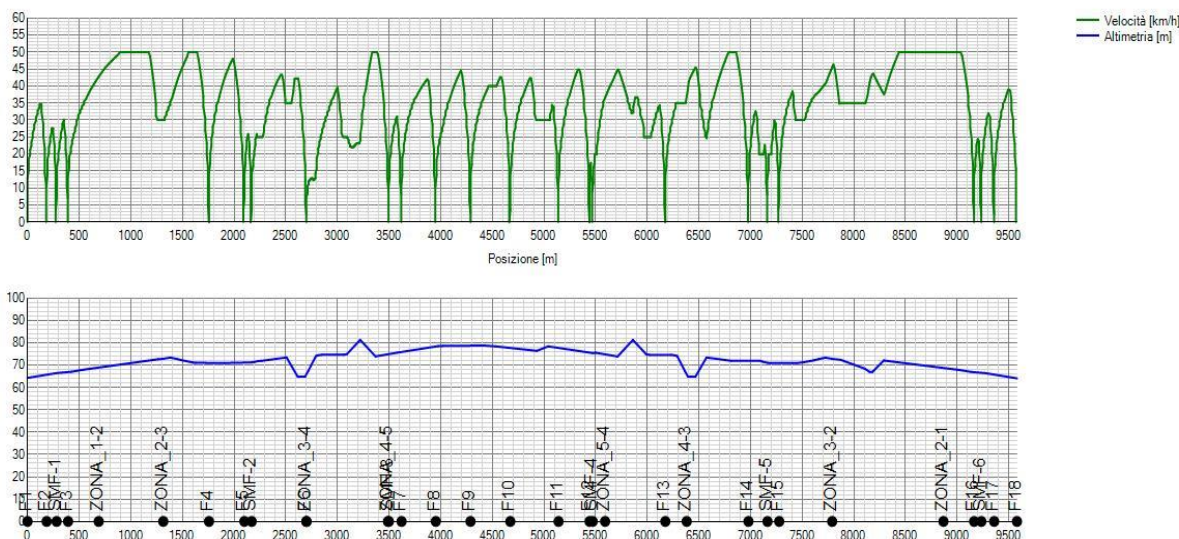


Figura 11: Diagrammi di velocità del filobus, sincronismo 0 [s]

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  | Progettazione infrastruttura stradale<br>Integrazione prestazioni specialistiche |  | Progettazione sistema trazione elettrica |
|  | Analisi trasportistica   |  | Consulenza materiale rotabile            |
|  | Analisi costi benefici   |  | Progettazione sistema di alimentazione   |
|  | Consulenza progettazione strutturale   |  |  |



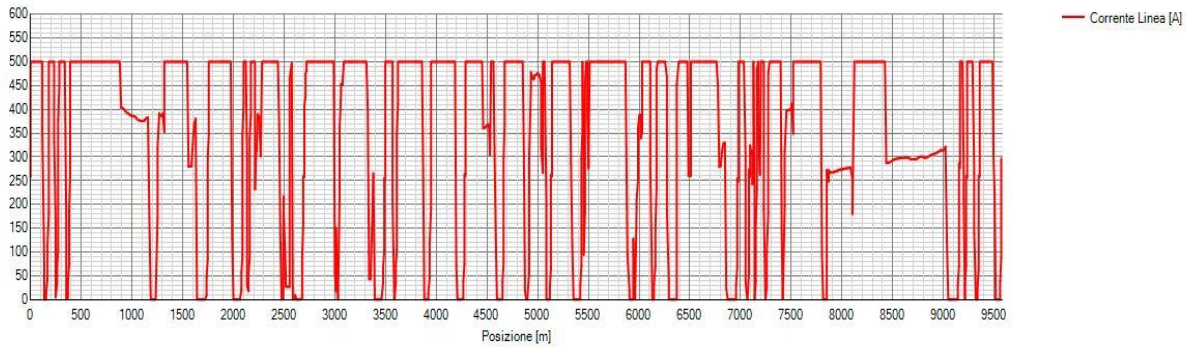


Figura 12: Digramma della corrente di linea del filobus, sincronismo 0 [s]

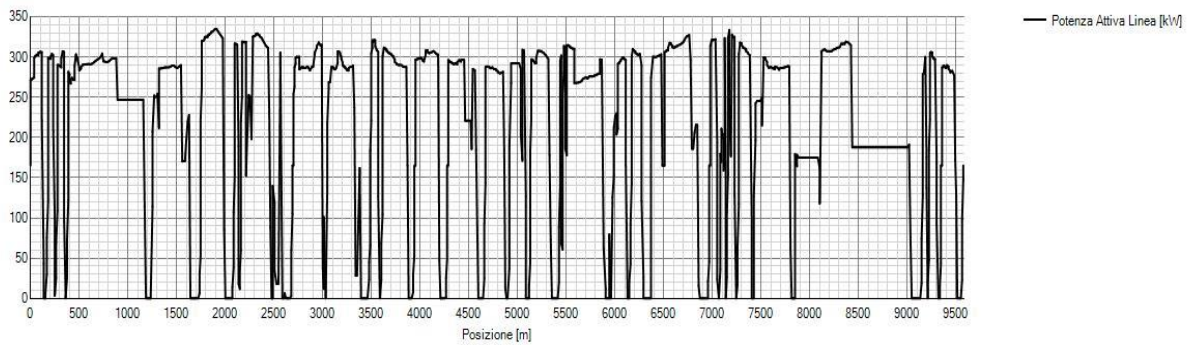



Figura 13: Digrammi della potenza assorbita dal filobus, sincronismo 0 [s]

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
|  Sintagma                     | Progettazione infrastruttura stradale<br>Integrazione prestazioni specialistiche |   | Progettazione sistema trazione elettrica |
|  TPS PRO                      | Analisi trasportistica   |  TEP S.p.A.                                 | Consulenza materiale rotabile            |
|  ptsclas                      | Analisi costi benefici   |  SATFERR S.r.l.<br>European Railway Service | Progettazione sistema di alimentazione   |
|  STUDIO INGEGNERIA<br>GENNARI | Consulenza progettazione strutturale   |   |  |

|   |   |                       |
|---|---|-----------------------|
| <br>Comune di Parma | Progetto per una linea di T.R.M. nella città di Parma tra la stazione RFI ed il Campus universitario (cfr. AVVISO 3 - Comunicato n.1 del MIT per interventi finanziabili dallo Stato nel settore del Trasporto Rapido di Massa) | Documento n° PR1Fi03A |
|   |   | Foglio 10 di 10       |

### 3 Conclusioni

I risultati delle simulazioni sono strettamente legati ai dati di input e alle ipotesi descritte nel documento [Rif.1]. La variazione dei dati di input e delle ipotesi di simulazione possono implicare notevoli variazioni dei risultati delle simulazioni.

Si fa notare che è stato assunto che tutti i veicoli assorbono una potenza continuativa aggiuntiva di 100 [kW] in tutte le condizioni di marcia, che simula la ricarica delle batterie. La corrente massima assorbita dai veicoli al bifilare è stata limitata al valore di 500 [A].

È stato simulato un cadenzamento dei filobus pari a 300 [s] ed è stato verificato il comportamento del sistema al variare del sincronismo dei veicoli nella prima tratta di linea da F1 a F10, rispetto ai veicoli nella seconda tratta di linea da F10 a F18 (vedi Capitolo 5 di [Rif.1]). Non sono state simulate condizioni di accodamento dei veicoli.

#### **Tensione di Linea**

La tensione minima di linea è sempre superiore al valore di 400 [V] previsto dalla normativa e al valore di 435 [V] assunto come valore minimo di funzionamento dei filobus.

#### **Corrente nel filo di contatto**

La corrente nel filo di contatto, calcolato nell'intervallo temporale pari al cadenzamento, è sempre inferiore al valore di 372 [A], calcolato alla temperatura di 80 [°C] con usura media del 20 [%].

#### **Carico degli alimentatori di SSE e degli Alimentatori di rinforzo**

Il massimo valore RMS della corrente, calcolato in un intervallo temporale pari al cadenzamento, è sempre inferiore alla portata a regime dei cavi

#### **Carico delle SSE**

Non sono presenti condizioni di sovraccarico delle SSE: il valore RMS della corrente erogata dai raddrizzatori di SSE è pari al 70 [%] del valore nominale. Il valore di picco della corrente erogata dai raddrizzatori è sempre inferiore al 200 [%] del valore nominale.

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  | Progettazione infrastruttura stradale<br>Integrazione prestazioni specialistiche |  | Progettazione sistema trazione elettrica |
|  | Analisi trasportistica   |  | Consulenza materiale rotabile            |
|  | Analisi costi benefici   |  | Progettazione sistema di alimentazione   |
| STUDIO INGEGNERIA<br>GENNARI   | Consulenza progettazione strutturale   |  |  |