

RAPPORTO

USO RISERVATO

APPROVATO

C1006523

Cliente Terna Rete Italia S.p.A.

Oggetto Elettrodotto in singola terna a 380 kV tra le stazioni elettriche di Colunga (BO) e Calenzano (FI) e opere connesse
Valutazioni inerenti il livello sonoro prodotto per effetto corona

Ordine A.Q. n. 6000002652 del 10/07/2018 -attivazione n. 4000069753 (B8021235)

Note Inviato con lettera prot. n. C1008847
WbS: A1300001648



La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

N. pagine 21 **N. pagine fuori testo** -

Data 08/04/2021

Elaborato STC - Lamberti Marco, STC - Ziliani Roberto, STC - Ghilardi Marina
C1006523 3728 AUT C1006523 3754 AUT C1006523 114978 AUT

Verificato EDM - Sala Maurizio, ENC - Pertot Cesare
C1006523 3741 VER C1006523 3840 VER

Approvato ENC - Il Responsabile - Mozzi Riccardo
C1006523 2809622 APP

CESI S.p.A.

Via Rubattino 54
I-20134 Milano - Italy
Tel: +39 02 21251
Fax: +39 02 21255440
e-mail: info@cesi.it
www.cesi.it

Capitale sociale € 8.550.000 interamente versato
C.F. e numero iscrizione Reg. Imprese di Milano 00793580150
P.I. IT00793580150
N. R.E.A. 429222

© Copyright 2021 by CESI. All rights reserved

Pag. 1/21

Indice

1	PREMESSA E SCOPI	3
2	RUMORE PRODOTTO PER EFFETTO CORONA - GENERALITÀ	3
2.1	Origine del fenomeno.....	3
2.2	Calcolo previsionale del rumore prodotto per effetto corona da elettrodotti	4
3	APPROCCIO METODOLOGICO	6
3.1	Tratte di interesse	6
3.2	Dati progettuali	9
3.3	Calcolo del livello sonoro per le configurazioni selezionate	12
3.4	Piani di classificazione acustica - Limiti applicabili	13
3.4.1	Comune di Castenaso	13
3.4.2	Comune di San Lazzaro di Savena	13
3.4.3	Comune di Calenzano	14
3.5	Risultati del calcolo.....	15
4	CONCLUSIONI	17
	APPENDICE	18
	Formule BPA.....	18
	Metodi di calcolo.....	18
	Profilo longitudinale della linea.....	20

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	08/04/2021	C1006523	Prima emissione

1 PREMESSA E SCOPI

Nell'ambito della predisposizione del Progetto di Monitoraggio Ambientale per il futuro elettrodotto Terna a 380 kV Colunga – Calenzano, il presente rapporto contiene alcune valutazioni relative alla rumorosità prodotta per effetto corona in fase Post Operam dalla nuova linea.

2 RUMORE PRODOTTO PER EFFETTO CORONA - GENERALITÀ

2.1 Origine del fenomeno

Il dizionario IEEE dei termini elettrici ed elettronici¹ definisce l'effetto corona come una scarica luminosa dovuta alla ionizzazione dell'aria circostante un elettrodo causata da un gradiente di tensione superiore a un certo valore critico. Questo gradiente di tensione critica e la relativa tensione sono indicati rispettivamente come il gradiente di insorgenza del fenomeno corona e la tensione di inizio corona,

L'effetto corona è possibile solo nel caso di campi elettrici non uniformi; in un sistema di trasmissione ad alta tensione, la dimensione del conduttore è molto piccola rispetto alla sua altezza dal suolo, e il campo elettrico vicino alla superficie del conduttore è molto elevato. Gli elettroni presenti presso il conduttore possono acquisire sufficiente energia cinetica dal campo elettrico e ionizzare le molecole d'aria per effetto di collisioni. Questo dà luogo alle cosiddette "valanghe" che comprendono un gran numero di elettroni e ioni positivi. L'effetto corona ha inizio quando questa valanga arriva ad una situazione di auto-sostentamento. Poiché l'intensità del campo elettrico diminuisce drasticamente con la distanza dalla superficie del conduttore, la scarica è limitata ad un sottile strato attorno al conduttore, che è comunemente nota come strato ionizzato.

In presenza di determinate caratteristiche di intensità e distribuzione spaziale, la ionizzazione si manifesta in una scarica elettrica che può avere effetti dissipativi o disturbanti di una certa consistenza, in termini di perdite di energia trasmessa, campi elettromagnetici ad alta frequenza, emissioni acustiche e luminose, generazione di ioni e di ozono, ecc. Il tipo di tensione applicata (positiva o negativa, continua o alternata) e le caratteristiche geometriche, principalmente il raggio di curvatura dell'elettrodo in

¹ IEEE Standard Definitions of Terms Relating to Overhead-Power-Line Corona and radio Noise. ANSI/IEEE Std 539-1979.

tensione, influenzano il processo di ionizzazione e le caratteristiche delle scariche corona che ne derivano.

Il fenomeno corona su un conduttore in tensione ha inizio quando il gradiente massimo superficiale raggiunge il cosiddetto gradiente critico (g_c). L'effetto corona che si può manifestare sulle linee è influenzato da tre parametri principali:

- il gradiente superficiale del conduttore, che per una determinata tensione di esercizio, dipende dalle caratteristiche geometriche della linea stessa;
- le condizioni della superficie del conduttore (nuovo / invecchiato, liscio / cordato, pulito / inquinato, trattato con sabbiatura o ingrassato);
- le condizioni atmosferiche (densità dell'aria e dall'umidità relativa).

Le condizioni di pioggia, nebbia intensa, neve o ghiaccio sul conduttore sono causa di irregolarità superficiali, che provocano l'aumento del gradiente locale.

In condizioni di cattivo tempo, il fenomeno corona si manifesta a livelli di tensione più bassi rispetto alle condizioni di bel tempo, con conduttore asciutto. A tale proposito alcuni studiosi² indicano 19÷20 kV/cm come valore critico del gradiente, mentre in condizioni di brutto tempo esso scende a circa 10÷12 kV/cm, molto al di sotto del gradiente di esercizio.

Quindi, a causa dell'effetto corona i conduttori in tensione possono dare origine a rumore acustico che si manifesta con un ronzio avvertibile in prossimità della linea. L'effetto corona è relativamente più elevato in condizioni di alta umidità atmosferica e di pioggia, in quanto la rigidità dielettrica dell'aria è fortemente dipendente da questi parametri.

2.2 Calcolo previsionale del rumore prodotto per effetto corona da elettrodotti

Le formule utilizzate per il calcolo del livello sonoro prodotto per effetto corona sono quelle proposte dalla Bonneville Power Administration, le cosiddette "formule BPA", ricavate da studi di V. L. Chartier^{3,4}, descritte sinteticamente in Appendice a pag. 18.

Tale formulazione, secondo numerosi ricercatori, rappresenta il metodo che meglio si applica alle più diverse configurazioni di linee e tensioni di esercizio.

Le espressioni richiedono, quale dato di input, oltre ai parametri geometrici, il valore del gradiente superficiale di campo elettrico dei conduttori. Sono diversi i metodi di calcolo di tale parametro⁵: tra gli

² Wszolek T., Wszolek W., Izvorski A., (2001) "Assessment of the Long-Term Levels for Corona Audible Noise in Vicinity of UHV Transmission Lines", Proceedings of the 3rd WSEAS Symposium on mathematical methods and computational techniques in electrical engineering Athens, Greece December 17-23

³ Chartier, V.L., Stearns, R.D. (1981), "Formulas for Predicting Audible Noise from Overhead High Voltage AC and DC Lines", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume: PAS-100, Issue: 1, pages: 121-130

⁴ Bonneville Power Administration: Description of Equations and Computer Program for Predicting Audible Noise, Radio Interference, Television Interference, and Ozone from A-C Transmission Lines. Technical Report ERJ-77-167

⁵ IEEE Trans PAS – Vol. 98 –N. 6 Nov/Dec 1979 "A survey of Methods for Calculating Transmission Line Conductor Surface Voltage Gradients" (pagg. 1996-2014)

altri il metodo dei coefficienti di potenziale (metodo di Maxwell) e il metodo di Markt e Mengele, le formule di Mangoldt⁶.

L'espressione proposta dalla BPA calcola, per ciascun conduttore della linea, il livello di rumore (Audible Noise o "AN", secondo la terminologia anglosassone) generato alla distanza D dalla linea nelle condizioni di pioggia leggera o conduttore bagnato (wet conductor), che corrisponde al livello L_{50} della distribuzione statistica del disturbo acustico sotto pioggia.

L'espressione è valida per linee aventi le più diverse caratteristiche geometriche, tensioni di esercizio comprese indicativamente tra 230 kV e 1500 kV, conduttori di fase singoli o a fascio fino a 16 sub-conduttori e diametro del sub-conduttore compreso tra 2 e 6.5 cm.

Una stima del livello L_5 della distribuzione statistica (condizione di pioggia intensa "heavy rain") si ottiene sommando 3.5 dB(A) al livello L_{50} , relativo alla pioggia leggera. Analogamente, il disturbo acustico per tempo bello è considerato pari a circa $L_{50} - 25$ dB(A).

Tutte le espressioni di cui sopra calcolano il disturbo acustico prodotto da un conduttore di fase. Il disturbo acustico complessivo della linea (n fasi) si calcola sommando, in termini energetici, il contributo di ciascuna fase presso il punto ricettore.

Le relazioni BPA possono essere reperite in letteratura secondo diverse formulazioni, a seconda dell'unità di misura utilizzata e dei parametri (ad esempio, per il diametro dei conduttori talvolta, in luogo dei termini relativi a d e ad N, si indica il diametro equivalente d_{eq}). Le diverse espressioni sono legate da semplici passaggi matematici.

⁶ W. v. Mangoldt, "Electrical fundamentals of bundle conductors," in Siemens-Schuckert-Werke AG, Berlin, Germany, 1942, pp. 3-11.

3 APPROCCIO METODOLOGICO

L'attività si articola nelle seguenti fasi:

1. individuazione delle tratte di interesse;
2. acquisizione degli elementi progettuali relativi alla disposizione dei conduttori e alla loro altezza dal suolo;
3. applicazione di algoritmi previsionali relativi al rumore corona da linee aeree AT;
4. valutazione dei risultati presso i ricettori previsti nel PMA, in relazione alla classe acustica di appartenenza nei rispettivi piani di classificazione.

3.1 Tratte di interesse

Nello studio vengono presi in considerazione i punti di monitoraggio previsti nel PMA della nuova linea Colunga-Calenzano per le fasi Ante Operam e Corso d'Opera e le corrispondenti tratte di elettrodotto a questi prospicienti. I punti di monitoraggio e le campate di interesse sono indicati nella Tabella 1.

Le immagini riportate in Figura 2 mostrano l'ubicazione dei punti di monitoraggio rispetto alle campate del nuovo elettrodotto, identificate dal n° dei sostegni.

Tabella 1 - Punti di monitoraggio per la componente Rumore, coordinate, campate di riferimento dell'elettrodotto e distanza in pianta dall'elettrodotto

Punto	Coordinate (Sist. WGS84, proiez. UTM fuso 32)		Descrizione	Campata di riferimento (sostegno n°- sostegno n°)	Distanza dall'elettrodotto [m]
	E [m]	N [m]			
ACU-01	695759	4928286	Il recettore ha destinazione d'uso residenziale ed è localizzato nei pressi della esistente S.E. Terna di Colunga, lungo via Ristorone, nel comune di Castenaso (BO) in un'area pianeggiante. Esso si colloca a circa 600 m dal tracciato autostradale, che scorre a Sud del punto.	1-2	80
ACU-02	694434	4922010	Il recettore ha destinazione d'uso residenziale, nel comune di San Lazzaro di Savena (BO) ed appartiene ad un gruppo di case sparse, con aree alberate. In posizione antistante al punto c'è una strada secondaria (Via Piombarola).	21-22 22-23	40
ACU-03	694539	4922012	Il recettore ha destinazione d'uso residenziale, nel comune di San Lazzaro di Savena (BO). È a poca distanza da ACU_02 (100 m circa), che risulta circa equidistante dalla futura linea rispetto al punto ACU_02, dalla parte opposta.	21-22 22-23	40
ACU-04	693267	4920489	Il recettore ha destinazione d'uso residenziale e si colloca nel comune di San Lazzaro di Savena (BO), lungo SP7, Via Idice.	28-29	70
ACU-05	678512	4864387	Il recettore ha destinazione d'uso residenziale, nel comune di Calenzano (FI), frazione Legri. La zona è isolata, lontano da fonti stradali o industriali di rilievo.	202-203	75
ACU-06	676618	4861617	Il recettore, Cascina "Il Gello", ha destinazione d'uso residenziale, nel comune di Calenzano. L'autostrada scorre a circa 1100 m.	210-211	70
ACU-07	674566	4858875	Il recettore ha destinazione d'uso residenziale, nel comune di Calenzano, nei pressi di via F.Petrarca. Il punto è immerso nel tessuto urbano, ci sono strade e industrie. Autostrada a circa 350 m	224-225	30
ACU-08	673808	4857813	Il recettore ha destinazione d'uso residenziale, nel comune di Calenzano. Confina direttamente con aree incolte, ma ci sono anche industrie, strade (Via Prato) ed un centro commerciale.	229-230	60



Figura 1 - Ubicazione dei punti di monitoraggio ACU_01 ÷ ACU_05 e dei sostegni della nuova linea 380 kV



Figura 2 - Ubicazione dei punti di monitoraggio ACU_06 ÷ ACU_08 e dei sostegni della nuova linea 380 kV

3.2 Dati progettuali

Per il calcolo del livello sonoro prodotto per effetto corona dalla nuova linea 380 kV lungo alcuni tratti del suo percorso, sono stati reperiti i dati progettuali. Alcuni di tali dati comuni a tutto l'elettrodotto:

- tipo di conduttori: fascio trinato tipo LC2, in alluminio/acciaio, diametro 31.5 mm;
- interasse tra i conduttori all'interno del fascio trinato (spacing) = 400 mm;
- diametro della fune di guardia = 17.9 mm;
- tensione nominale = 380 kV.

Lungo la linea, per alcuni tratti, sarà realizzato un loop passivo per la mitigazione dei campi magnetici a frequenza industriale. In tali tratti, oltre ai conduttori per il trasporto dell'energia saranno installati conduttori a costituire una spira. Tali conduttori aggiuntivi saranno montati su mensole dedicate. Il diametro del conduttore utilizzato per la realizzazione del loop passivo sarà di 40.5 mm

Sono invece proprie delle singole campate di interesse le caratteristiche dimensionali dei sostegni, essenzialmente per quello che riguarda la testa palo.

In Tabella 2 sono riportate, secondo la codifica Terna, la tipologia di sostegni previsti e le relative coordinate.

Tabella 2 - Tipologia dei sostegni e coordinate

Num.	Tipo	Coordinate (Sist. WGS84, proiez. UTM fuso 32)		Num.	Tipo	Coordinate (Sist. WGS84, proiez. UTM fuso 32)	
		E [m]	N [m]			E [m]	N [m]
1	EA st	695831.86	4928346.68	203	PV st	678554.19	4864320.07
22	PST	694485.17	4922002.44	211	PL st	676671.59	4861568.79
28	PST	693472.21	4920596.84	224	AN dt-L	674621.21	4858864.01
29	PST	693284.63	4920408.23	229	MDT-L	673789.39	4857895.82

La seguente tabella sintetizza le tipologie di teste palo studiate e le loro principali caratteristiche.

La figura seguente riporta gli schemi delle teste palo dei sostegni, dai quali sono state ricavate le caratteristiche dimensionali per l'applicazione del SW.

Tabella 3 - Configurazioni di teste palo studiate

Sost. n.	Denominazione	Schema testa palo	Tipologia conduttori / Interasse	Numero e diametro delle funi di guardia
1	EA st		n.3 x 31.5 mm tipo LC2	n.2 x 17.9 mm

Sost. n.	Denominazione	Schema testa palo	Tipologia conduttori / Interasse	Numero e diametro delle funi di guardia
229	MDT-L	<p>The diagram shows a tower cross-section with four cross-arms. At the top, there are three phase conductors (labeled R, Y, B) and one ground wire (labeled G). Dimensions include a top width of 2567 mm, a top height of 300 mm, and vertical spacings of 6880 mm between the top and second cross-arms, 6880 mm between the second and third, and 6880 mm between the third and fourth. The bottom cross-arm is 1220 mm above the tower base. The tower base is labeled 'N°50 BULLONI M8x350'. Other dimensions include 1050 mm for the top conductor spacing, 2090 mm for the second cross-arm height, and 3050 mm for the third cross-arm height.</p>	<p>Doppia terna, conduttori di fase: n.3 x 31.5 mm tipo LC2 cad.</p> <p>Conduttori di Loop: n.1 x 40.5 mm tipo LC4 cad (per le 2 mensole basse)</p>	<p>Doppio cimino, n.1 x 17.9 mm</p> <p>n.1 x 40.5 mm (per Loop)</p>

Un altro dato progettuale indispensabile per l'esecuzione del calcolo è rappresentato dall'altezza dei conduttori dal suolo. Tale informazione è stata reperita dagli elaborati che riportano il profilo longitudinale dell'elettrodotto aereo (cod. LEDR04002B817276). In appendice, a pag. 20 (Figura 6) si riportano gli stralci del profilo per le campate di interesse. Sulla base di tali schemi, le altezze minime utilizzate per il calcolo, scelte in modo conservativo, sono le seguenti:

- punti ACU-01, ACU-07, ACU-08: altezza minima 25 m;
- punto ACU-02, ACU-03, ACU-05, ACU-06: altezza minima 20 m;
- punto ACU-04: altezza minima 30 m.

3.3 Calcolo del livello sonoro per le configurazioni selezionate

Le valutazioni sono state condotte con riferimento al punto di minima altezza dal suolo dell'elettrodotto, ipotizzando che la mutua disposizione dei conduttori e delle funi di guardia non muti sostanzialmente rispetto ai sostegni lungo lo svolgersi della linea.

Per ciascuna configurazione di linea, sono stati calcolati tre valori distinti, relativi a:

- condizione di "pioggia leggera / conduttore bagnato";
- condizione di "pioggia intensa";
- situazione di "bel tempo".

Le prime due situazioni sono descritte convenzionalmente dai parametri L_{50} ed L_5^7 .

Nelle valutazioni analitiche, effettuate con un SW specifico, si è assunto il valore di tensione nominale di 380 kV.

3.4 Piani di classificazione acustica - Limiti applicabili

I punti di monitoraggio selezionati appartengono ai comuni di Castenaso (BO), San Lazzaro di Savena (BO) e Calenzano (FI). Tutti questi comuni dispongono del piano di classificazione acustica.

3.4.1 Comune di Castenaso

Uno stralcio del piano di classificazione acustica, reperito sul sito istituzionale⁸ è riportato in Figura 3:

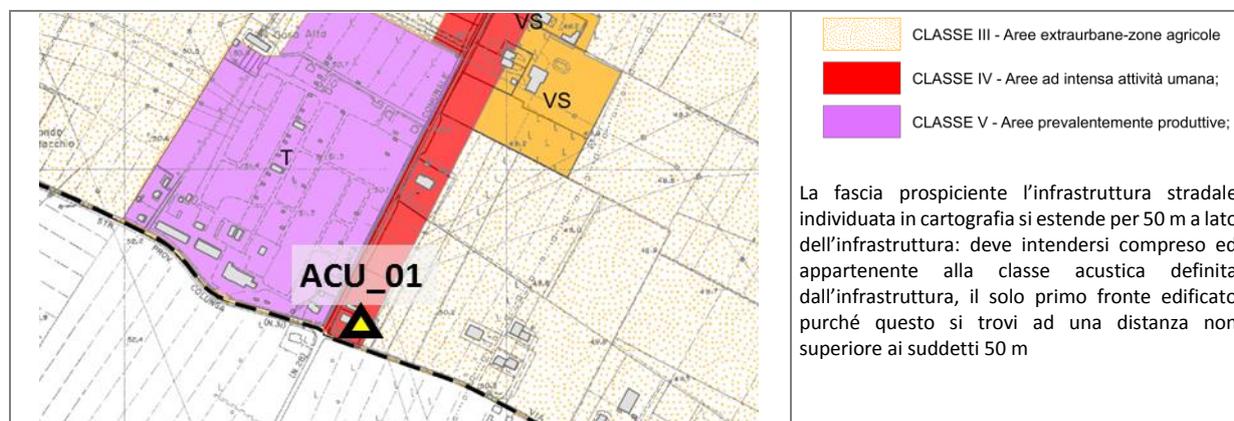


Figura 3 – Comune di Castenaso - Stralcio del piano di classificazione acustica per l'area di interesse – Ricettore ACU-01

Come si deduce dalla Figura 3, il ricettore ACU-01 ricade in classe IV (fascia prospiciente all'infrastruttura stradale).

3.4.2 Comune di San Lazzaro di Savena

In data 08/04/2014, con deliberazione n. 20, il Consiglio Comunale di San Lazzaro ha approvato la nuova classificazione acustica comunale⁹. Dalla Figura 4, da esaminare contestualmente alla Figura 1, si deduce che i ricettori ACU-02 ed ACU-03 ricadono in classe II, mentre il ricettore ACU-04 appartiene alla fascia di pertinenza stradale in classe IV.

⁷ Il valore L_{50} è il più importante dal punto di vista del disturbo. Infatti, il rumore corona durante la situazione di pioggia intensa è mascherato dal rumore della pioggia stessa. Il conduttore bagnato, invece, esiste anche in caso di nebbia e di pioggia leggera, condizioni durante le quali il rumore prodotto dalla linea per effetto corona può più facilmente essere apprezzato. A seconda che si consideri la distribuzione statistica retro cumulata o cumulata, il parametro L_5 può essere indicato con L_{95} .

⁸ <https://www.comune.castenaso.bo.it/it-it/servizi/abitare-c/zonizzazione-acustica-comunale-zac-370-191-1-cc497559bed6c0137e14f61e406417ff>

⁹ https://sit6.geographics.eu/Elaborati_PDF/Elaborati_Z_A/index_z_a_approvata.htm

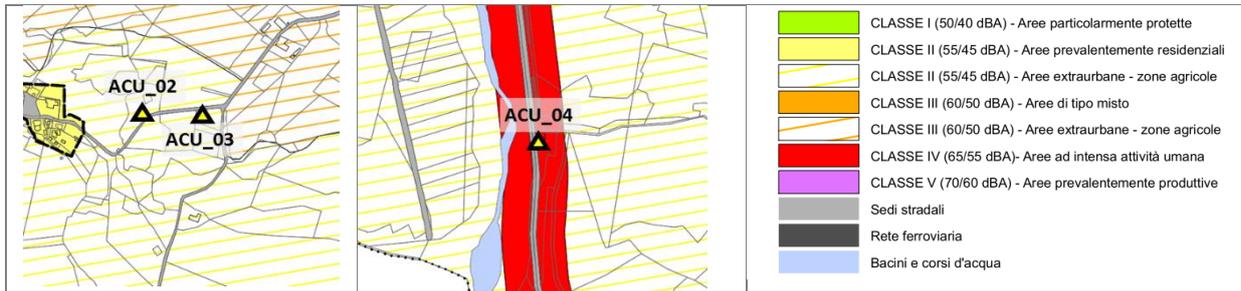


Figura 4 – Comune di S. Lazzaro di Savena - Stralci del piano di classificazione acustica per l'area di interesse – Ricettori ACU-02, ACU-03, ACU-04

3.4.3 Comune di Calenzano

Il Comune di Calenzano ha approvato il proprio piano di classificazione con Delibera del Consiglio Comunale n. 137 del 29/11/2004. Le mappe sono reperibili sul sito istituzionale¹⁰

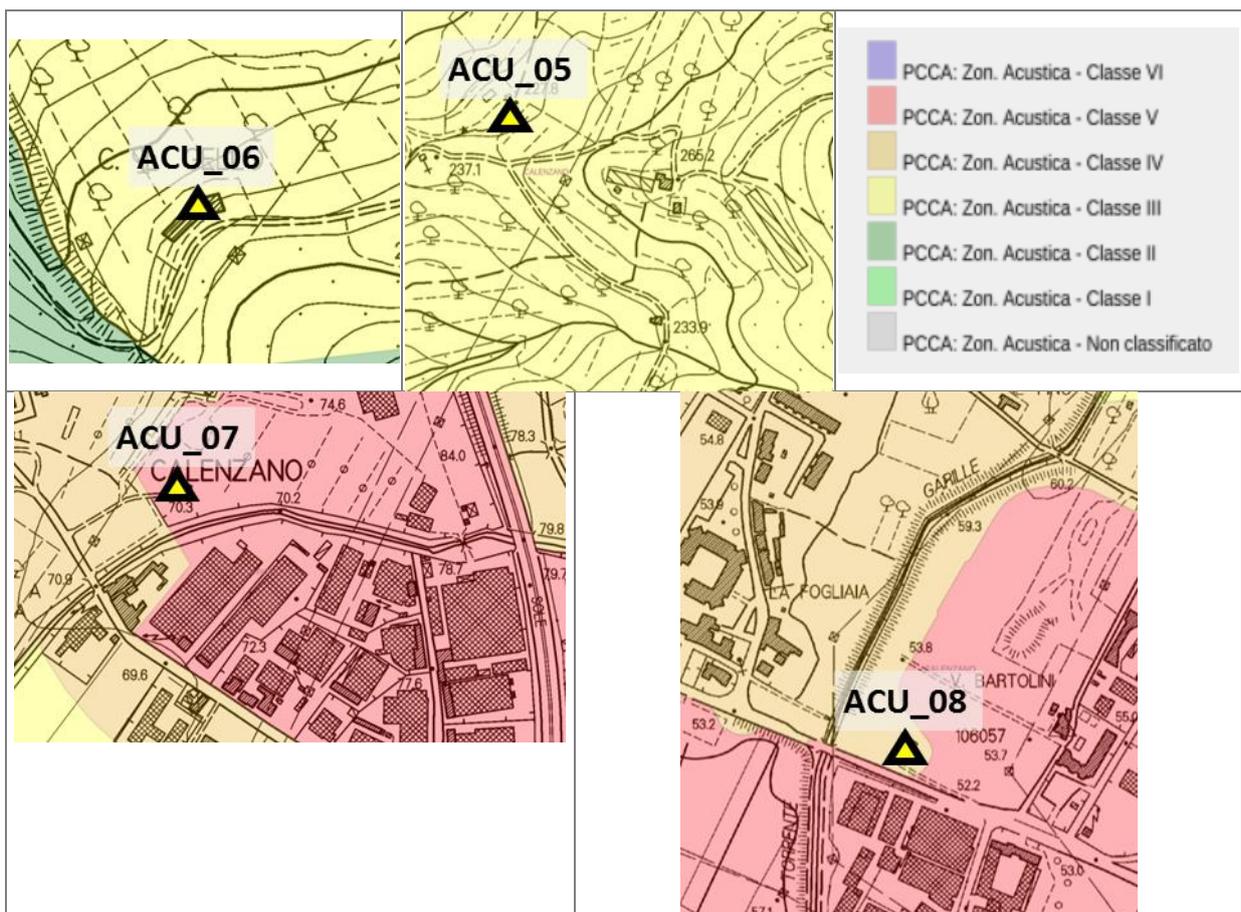


Figura 5 – Comune di Calenzano - Stralci del piano di classificazione acustica per l'area di interesse – Ricettori ACU-05, ACU-06, ACU-07, ACU-08

¹⁰ <http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/inquinamentifisici.html>

Rispetto all'ubicazione dei punti di monitoraggio, indicata in Figura 2, si ha la seguente classificazione:

- ACU-05, ACU-06: classe III;
- ACU-07: classe V;
- ACU-08: classe IV.

3.5 Risultati del calcolo

Sulla base delle altezze minime dell'elettrodotto dal suolo e della distanza dall'asse dell'elettrodotto (Tabella 1), in Tabella 4 sono presentati i livelli prodotti per effetto corona arrotondati allo 0.5 dB superiore¹¹, a fronte dei limiti assoluti di immissione ed emissione della classe di appartenenza del punto di monitoraggio.

Tabella 4 – Risultati del calcolo e valutazione di conformità ai limiti di legge – Valori in dB(A)

Punto di monitoraggio	Livello sonoro generato per effetto corona			Classe acustica (Comune)	Limite assoluto di immissione Diurno / Notturno	Limite di emissione Diurno / Notturno
	L ₅ Condizione "pioggia intensa"	L ₅₀ Condizione "pioggia leggera / conduttore bagnato"	Livello <i>fair weather</i> Situazione di bel tempo			
ACU-01	28.8	25.3	< 20	IV (Castenaso)	65 / 55	60 / 50
ACU-02	34.9	31.4	< 20	II (S.Lazzaro)	55 / 45	50 / 40
ACU-03	34.9	31.4	< 20	II (S.Lazzaro)	55 / 45	50 / 40
ACU-04	32.0	28.5	< 20	IV (S.Lazzaro)	65 / 55	60 / 50
ACU-05	32.1	28.6	< 20	III (Calenzano)	60 / 50	55 / 45
ACU-06	30.8	27.3	< 20	III (Calenzano)	60 / 50	55 / 45
ACU-07	35.1	31.6	< 20	V (Calenzano)	70 / 60	65 / 55
ACU-08	35.6	32.1	< 20	IV (Calenzano)	65 / 55	60 / 50

Come si può notare, i livelli calcolati dal modello, anche per la condizione di pioggia intensa e con le ipotesi cautelative adottate, sono nella maggior parte dei casi, molto minori dei limiti di emissione delle classi di appartenenza di ciascuno dei punti selezionati. Per i ricettori ACU-02 ed ACU-03, collocati in

¹¹ Presso CESI sono disponibili, a richiesta, gli output dei file di calcolo per ciascuno dei sostegni studiati.

classe II, il livello generato per effetto corona nella condizione di pioggia intensa risulta di circa 35 dB, a fronte del limite di emissione notturno di 40 dB. Va comunque evidenziato che, trattandosi di limiti assoluti, si suppone implicitamente che l'emissione sonora si mantenga inalterata per l'intero tempo di riferimento diurno e notturno. In caso di pioggia intensa, il ronzio prodotto dalla linea coesisterà con il rumore generato dalla pioggia stessa, che lo renderà indistinguibile.

La condizione di pioggia leggera/conduuttore bagnato è quella più rappresentativa dal punto di vista del disturbo. Infatti, il rumore corona durante la situazione di pioggia intensa è mascherato dal rumore della pioggia stessa. Il conduuttore bagnato, invece, esiste anche in caso di nebbia e di pioggia leggera, condizioni durante le quali il rumore prodotto dalla linea per effetto corona può più facilmente essere apprezzato. I valori ottenuti in questa condizione sono molto bassi, pari al più a circa 32 dB, quindi di scarso significato pratico anche in contesti con livello di rumore residuo ridotto.

Per quanto riguarda il criterio differenziale, il livello sonoro della "specifica sorgente" costituita dal rumore prodotto per effetto corona dalla nuova linea è talmente ridotto da non dare adito a criticità né per la condizione di pioggia intensa né per quella di conduuttore bagnato, indipendentemente dal livello di rumore residuo. Si avrà quindi il rispetto del criterio Δ , al più la non applicabilità all'interno degli ambienti abitativi anche in periodo notturno a finestre aperte.

4 CONCLUSIONI

Il contributo del rumore prodotto per effetto corona dalla nuova linea AT 380 kV Colunga-Calenzano è stato calcolato in corrispondenza dei ricettori previsti dal Progetto di Monitoraggio Ambientale mediante l'applicazione di relazioni matematiche ampiamente utilizzate in campo ingegneristico, le cosiddette formule BPA, da Bonneville Power Administration, l'ente statunitense che ne curò lo sviluppo. Tali formule sono state applicate alle tipologie di sostegno utilizzate lungo la linea nei tratti in corrispondenza dei ricettori individuati. Valutata l'altezza minima dal suolo dei conduttori, è stato prodotto il calcolo nelle tre condizioni che convenzionalmente vengono trattate per questo specifico fenomeno, ossia "pioggia intensa" "pioggia leggera/conduttore bagnato", e "bel tempo". I livelli sonori ottenuti risultano particolarmente bassi e tali da non prefigurare alcuna criticità in relazione all'inquinamento acustico. Pertanto, si ritiene non necessario procedere con il monitoraggio presso questi punti in fase di esercizio della nuova linea AT (monitoraggio P.O.).

APPENDICE

Formule BPA

Metodi di calcolo

I metodi di valutazione del disturbo acustico si fondano sulla conoscenza della potenza sonora generata da un conduttore di lunghezza unitaria A (altrimenti definita funzione generatrice) e delle leggi di propagazione del rumore.

L'espressione della potenza sonora generata può essere definita empiricamente sulla base delle conoscenze acquisite attraverso misure di livello sonoro al variare dei parametri caratteristici delle linee (gradiente elettrico e caratteristiche geometriche del conduttore), nonché delle condizioni ambientali.

La potenza acustica generata da un conduttore di lunghezza unitaria, in dB(A) si ricava analiticamente dalle misure, tenendo conto della lunghezza del conduttore in prova e della distanza alla quale è stata eseguita la misura.

Espressioni di calcolo del disturbo acustico sono state studiate da diversi sperimentatori, tra cui l'allora ENEL-DSR-CREL, nell'ambito delle ricerche eseguite tra gli anni '70 ed '80, inizialmente in camera anecoica e successivamente presso la Stazione Sperimentale 1000 kV di Suvereto. Sono state definite due espressioni di calcolo della potenza acustica generata (funzione generatrice) in dB(A), nelle condizioni di pioggia intensa (heavy rain) e pioggia leggera (wet conductor), indicate nel seguito:

Pioggia intensa "heavy rain" (L_{95})	Pioggia leggera "wet conductor" (L_{50})
$A = 23 - \frac{576}{g_{a\max}} + 37 \cdot \log(d) + 10 \cdot \log(n)$	$A = 30 - \frac{863}{g_{a\max}} + 57 \cdot \log(d) + 7 \cdot \log(n)$

dove:

$g_{a\max}$ gradiente medio massimo, ossia la media dei gradienti massimi di ciascun subconduttore (kV_{eff}/cm)

n numero di subconduttori del fascio

d diametro del subconduttore (cm)

I parametri L_{95} ed L_{50} sono relativi alla distribuzione cumulativa del livello sonoro.

Sostituendo il valore della potenza acustica 'A' nell'espressione che definisce la legge di propagazione del rumore si ottiene il livello di rumore AN in dB(A), riferito a $p_0 = 20 \mu Pa$.

Pioggia intensa "heavy rain" (L_{95})

$$AN = 77.3 - \frac{576}{g_{\max}} + 10 \cdot \log(n) + 37 \cdot \log(d) - 11.4 \cdot \log(D)$$

Pioggia leggera "wet conductor" (L_{50})

$$AN = 84.3 - \frac{863}{E_{a\max}} + 7 \cdot \log(n) + 57 \cdot \log(d) - 11.4 \cdot \log(D)$$

Per entrambe le relazioni, D, in m, rappresenta la distanza del microfono dal conduttore.

Il campo di validità delle suddette espressioni riguarda però tensioni di esercizio ≥ 750 kV, $n \geq 6$, d compreso tra 2 e 5 cm e si riferisce a linee ubicate a livello del mare.

Sulla base di ricerche effettuate a diverse quote altimetriche, si può ritenere che il disturbo acustico aumenta di circa 3 dB(A) ogni 1000 m di incremento della quota.

Dal confronto delle espressioni di calcolo proposte dai diversi sperimentatori, si può ritenere che quella proposta dalla BPA rappresenta il metodo che meglio si applica alle più diverse configurazioni di linee e tensioni di esercizio.

L'espressione proposta dalla BPA calcola, per ciascun conduttore della linea, la potenza acustica generata nelle condizioni di pioggia leggera o conduttore bagnato (wet conductor), che corrisponde al livello L_{50} della distribuzione statistica del disturbo acustico sotto pioggia.

La potenza acustica generata A , in dB(A), è data da:

$$A = A_0 + 120 \cdot \log(g_{a\max}) + 55 \cdot \log(d) + K \cdot \log(N)$$

dove, oltre ai parametri $g_{a\max}$ e d , con lo stesso significato sopra menzionato, si ha A_0 e K che valgono:

- per $n < 3$ $A_0 = -109.6$, $K = 0$
- per $n \geq 3$ $A_0 = -122.6$, $K = 26.4$.

Introducendo l'espressione di A , nell'espressione già utilizzata, si calcola il livello sonoro AN in dB(A), riferito a 20 μ Pa:

$$AN = K_0 + 120 \cdot \log(g_{a\max}) + K_1 \cdot \log(n) + 55 \cdot \log(d) - 11.4 \cdot \log(D) + \frac{H}{300}$$

dove:

- per $n < 3$: $K_0 = -115.4$, $K_1 = 0$
- per $n \geq 3$: $K_0 = -128.4$, $K_1 = 26.4$

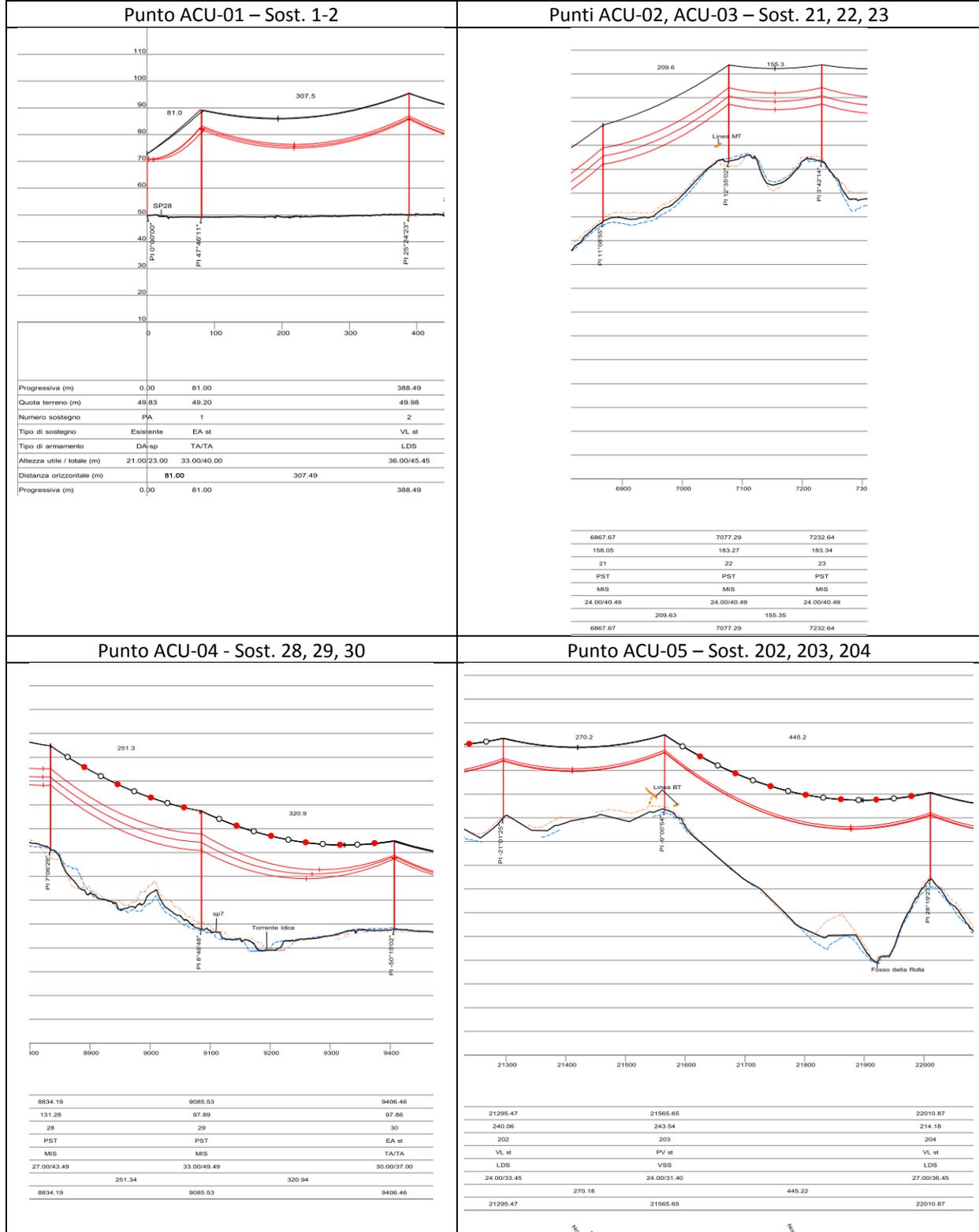
Il termine $H/300$ tiene conto della variazione del rumore corona in funzione della densità dell'aria, espressa in termini di altezza sul livello del mare (H) della zona ove è ubicata la linea.

L'espressione è valida per linee aventi le più diverse caratteristiche geometriche, tensioni di esercizio comprese tra 230 kV e 1500 kV, conduttori di fase singoli o a fascio fino a 16 sub-conduttori e diametro del sub-conduttore compreso tra 2 e 6.5 cm. Le formule BPA sono comunemente utilizzate all'interno dei SW per il calcolo del rumore corona dalle linee AT.

Una stima del livello L_{95} della distribuzione statistica (condizione di pioggia intensa "heavy rain", pari a L_5 se si utilizza la distribuzione retro-cumulata) può essere effettuata sommando 3.5 dB(A) al livello L_{50} (pioggia leggera), mentre il disturbo acustico per tempo bello si può stimare pari a circa $L_{50} - 25$ dB(A).

Tutte le espressioni di cui sopra calcolano il disturbo acustico prodotto da un conduttore di fase. Il disturbo acustico complessivo della linea (n fasi) si calcola "sommando" in termini energetici il disturbo di ciascuna fase.

Profilo longitudinale della linea



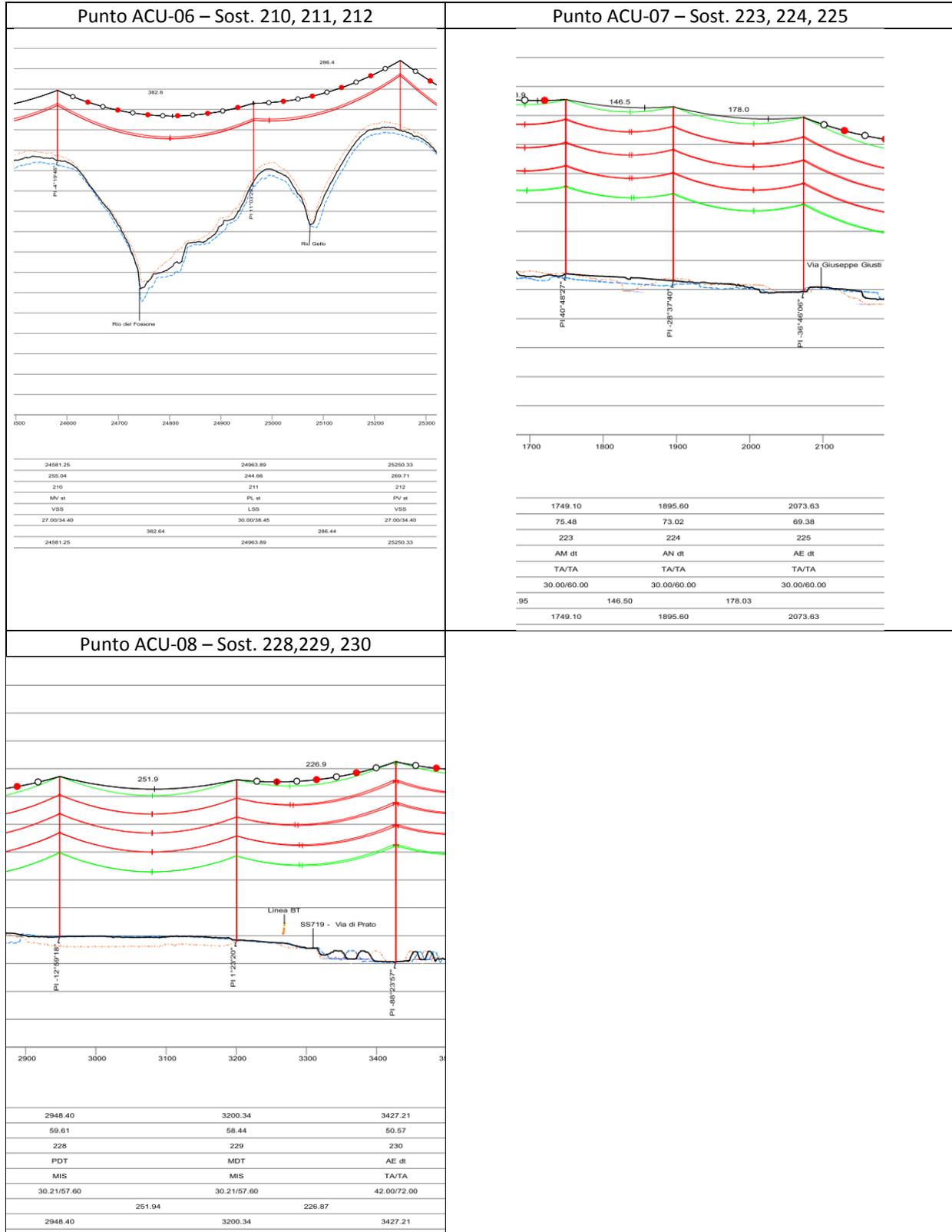


Figura 6 – Profilo longitudinale della nuova linea 380 kV nei tratti di interesse