



Assessorato Infrastrutture e Mobilità
 Dipartimento Tecnico
Ufficio Regionale del Genio Civile
 Servizio di Agrigento

Oggetto: **OCDPC n. 558/2018** “Opere per il completamento e la sistemazione spondale e pulizia del torrente Bagni nel Comune di Sciacca (AG)” - Piano Investimenti Cod. SI_AG_01410 CUP: J87H21005570001

PROGETTO ESECUTIVO



I PROGETTISTI

Geom. Franco PITRUZZELLA

Ing. Angelo Valerio ZAMBITO

IL DIRETTORE DEI LAVORI E
 COORDINATORE PER LA SICUREZZA

Geom. Franco PITRUZZELLA

Il progetto è stato approvato in linea tecnica ai sensi dell'art. 5 comma 3 della l.r. 12/2011 così come recepito dalla l.r. 8/2016 e validato ai sensi dell'art. 26 del D. Lgs. 50/2016.

Agrigento

Il R. U. P.

Arch. Pietro DISTEFANO

Tavola n. 10 Verifica idraulica

Sommario

1. Premesse	2
1. Curve di possibilità pluviometrica	3
1.1. Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP)	3
2. Portate di progetto	13
2.1. Calcolo delle portate di progetto	17
3. Verifica compatibilità idraulica	19

La presente verifica fa parte integrante del progetto redatto dal Dipartimento Regionale Protezione Civile Sicilia per la realizzazione del tratto finale del Torrente Bagni

1. Premesse

La presente relazione attiene gli studi idraulici ed idrologici afferenti il progetto definitivo del primo stralcio funzionale delle opere di sistemazione spondale dei Torrente Bagni.

Il Torrente Bagni ricade all'interno del Bacino idrografico 060 individuato dall'area territoriale compresa tra i bacini del Fiume Verdura e del Fiume Carboj, l'area si localizza nella porzione occidentale del versante meridionale della Sicilia, occupando una superficie complessiva di circa 158 Km², ed interessando la parte occidentale del territorio provinciale di Agrigento, che comprende un'ampia porzione dei comuni di Sciacca e Caltabellotta. Il Bacino idrografico 060 è delimitato ad Ovest dal bacino del F. Carboj, ad Est dal bacino del F. Verdura e a Nord la linea di spartiacque è materializzata dal margine meridionale del sistema dei Monti Sicani, la cui quota massima è rappresentata da Rocca Ficuzza (901,4 m.s.l.m.); a sud la fascia costiera è prospiciente il Mar Mediterraneo. Nell'area non si rinviene un corso d'acqua principale ma delle aste secondarie che si originano dalla confluenza di valloni e torrenti di primo ordine defluenti dalle pendici dei rilievi montuosi. A tal riguardo si ricorda il Vallone Foce San Marco che nasce in C.da San Bartolo a quota 144 m.s.l.m. nel territorio comunale di Sciacca e sfocia in località San Marco ad ovest di Colonia Marina. Procedendo verso Est si rinviene il Vallone Foce del Mezzo in cui convergono, in sinistra orografica, le acque del Vallone della Baita e, in destra orografica, le acque del V.ne Poio, trovando infine foce nel Mar Mediterraneo nei pressi di Colonia Marina. Ad Ovest del centro abitato di Sciacca e, più precisamente, immediatamente ad Est dell'Azienda Termale di Sciacca sfocia il Vallone Cava di Lauro, che nel tratto terminale prende il nome del Torrente Bagni oggetto della presente relazione.

Il Torrente proseguendo da Monte verso valle, attraversa diverse infrastrutture stradali sia a livello Regionale SS 115 che a livello di penetrazione come la S.P. 76 che costituisce l'unica via di accesso al Comune Sciacca dal Versante orientale risultando pertanto la principale via di collegamento tra i complessi turistico alberghieri della costa saccense e le principali strutture ricettive della cittadina quali il complesso termale, il porto ed il centro storico, inoltre, in prossimità della foce, in destra idraulica il torrente lambisce il complesso culturale "Museo del Mare", realizzato all'interno dell'ex Colonia Marina Maria Pia di Savoia costruita nel secolo scorso.

1. Curve di possibilità pluviometrica

Di seguito si riporta l'analisi statistica dei dati pluviometrici per la determinazione della curva di possibilità pluviometrica in funzione del tempo di ritorno TR per durata di pioggia superiore a 1 ora, tralasciando quella per pioggia inferiore a 1 ora, non significativa per lo studio in oggetto. Per il seguente studio si prenderanno in considerazione i dati della stazione pluviometrica di Sciacca (Scuola Agraria) attiva dal 1916 e posizionata ad una quota di 118 m sul livello del mare.

1.1. Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP) delle piogge di durata 1-24 ore

La valutazione delle curve di possibilità pluviometrica (piogge intense) e la stima delle portate di piena, viene condotta secondo i criteri sviluppati dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche nell'ambito del Progetto VAPI (Valutazione delle Piene in Italia) e pubblicati nel rapporto "Valutazione delle piene in Sicilia" relativamente alla Linea 1 "Previsione e prevenzione degli eventi idrologici estremi e loro controllo".

Obiettivo del G.N.D.C.I. è quello di predisporre una procedura, uniforme su tutto il territorio italiano, per la valutazione probabilistica delle piene in fase di redazione dei progetti e nel loro successivo esame da parte della pubblica amministrazione. Nell'ambito di tale studio si è utilizzata l'informazione pluviografica e idrometrica raccolta dal Servizio Idrografico Italiano elaborando tecniche di analisi statistica a scala regionale ed applicando la legge di distribuzione a doppia componente su tre livelli successivi di regionalizzazione.

Nel primo livello di regionalizzazione, nell'ipotesi che la Sicilia sia una zona pluviometrica omogenea, si è testata l'applicabilità della legge di distribuzione T.C.E.V. (Two Components Extreme Value distribution) o legge di distribuzione a doppia componente. Il modello probabilistico su base regionale T.C.E.V. ipotizza la serie dei massimi annuali come provenienti da due diverse popolazioni di dati legati a due differenti fenomenologie meteorologiche. I valori estremamente più elevati degli altri, ma rari, e una componente base o ordinaria che assume valori non elevati, ma frequenti.

L'altezza di precipitazione $h(t, TR)$ di durata generica t e tempo di ritorno TR, secondo tale metodo si scrive:

$$h_{t,TR} = h'_{t,TR} \cdot \mu$$

dove $h'_{t,TR}$, curva di crescita, variabile dipendente dalla sottozona geografica in cui è stata divisa la Sicilia, dalla durata t e dal tempo di ritorno TR, e μ media teorica della variabile idrologica nella legge probabilistica.

I secondo livello di regionalizzazione suddivide il territorio siciliano in tre sottozone omogenee denominate A, B e C e definite rispettivamente:

- ✓ Sottozona Ovest, delimitata ad Est dallo spartiacque del F. Imera Meridionale e del F. Pollina;
- ✓ Sottozona Nord-Est, delimitata dai bacini del F. Pollina a Ovest e del F. Salso-Simeto a Sud;
- ✓ Sottozona Sud-Est, delimitata a Nord dal bacino Salso-Simeto e ad Ovest dallo spartiacque del F. Imera Meridionale.

Per ciascuna sottozona lo studio V.A.P.I. fornisce l'espressione esplicita approssimata, valida per tempi di ritorno TR superiori a 10 anni, della curva di crescita, ovvero la legge di distribuzione della variabile $h' = x/\mu$, avendo indicato con x la variabile idrologica e con μ il valore medio teorico della legge TCEV:

Sottozona A: $hi_{t,TR} = 0.5391 - 0.001635 t + (0.0002212 t^2 + 0.00117 t + 0.9966) \log TR$;

Sottozona B: $hi_{t,TR} = 0.5135 - 0.002264 t + (0.000198 t^2 + 0.00329 t + 1.0508) \log TR$;

Sottozona C: $hi_{t,TR} = 0.5015 - 0.003516 t + (0.000372 t^2 + 0.00102 t + 1.0101) \log TR$;

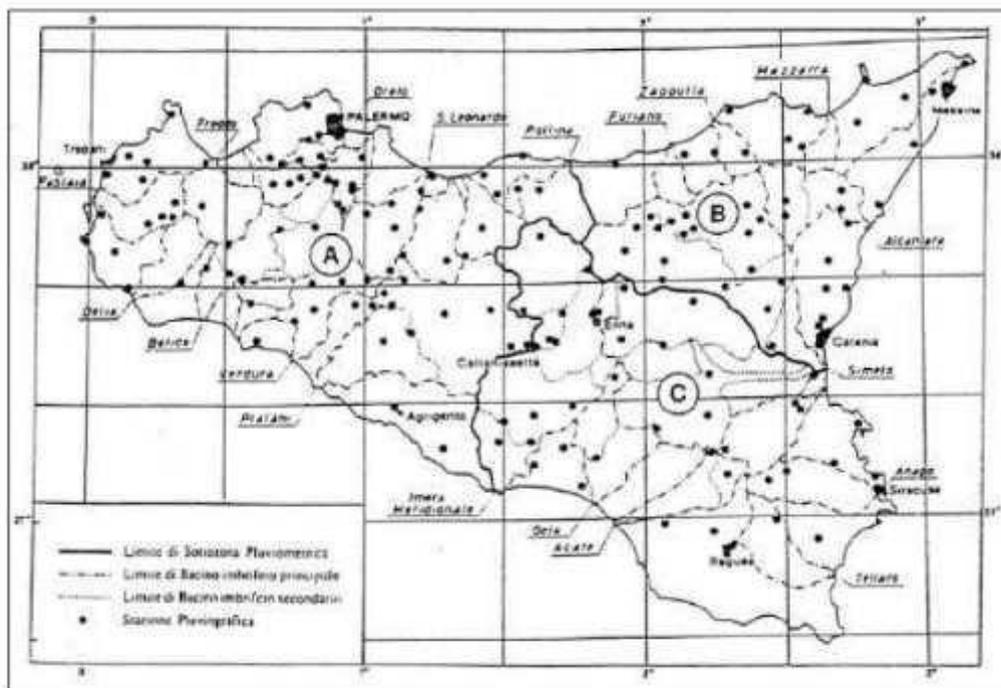


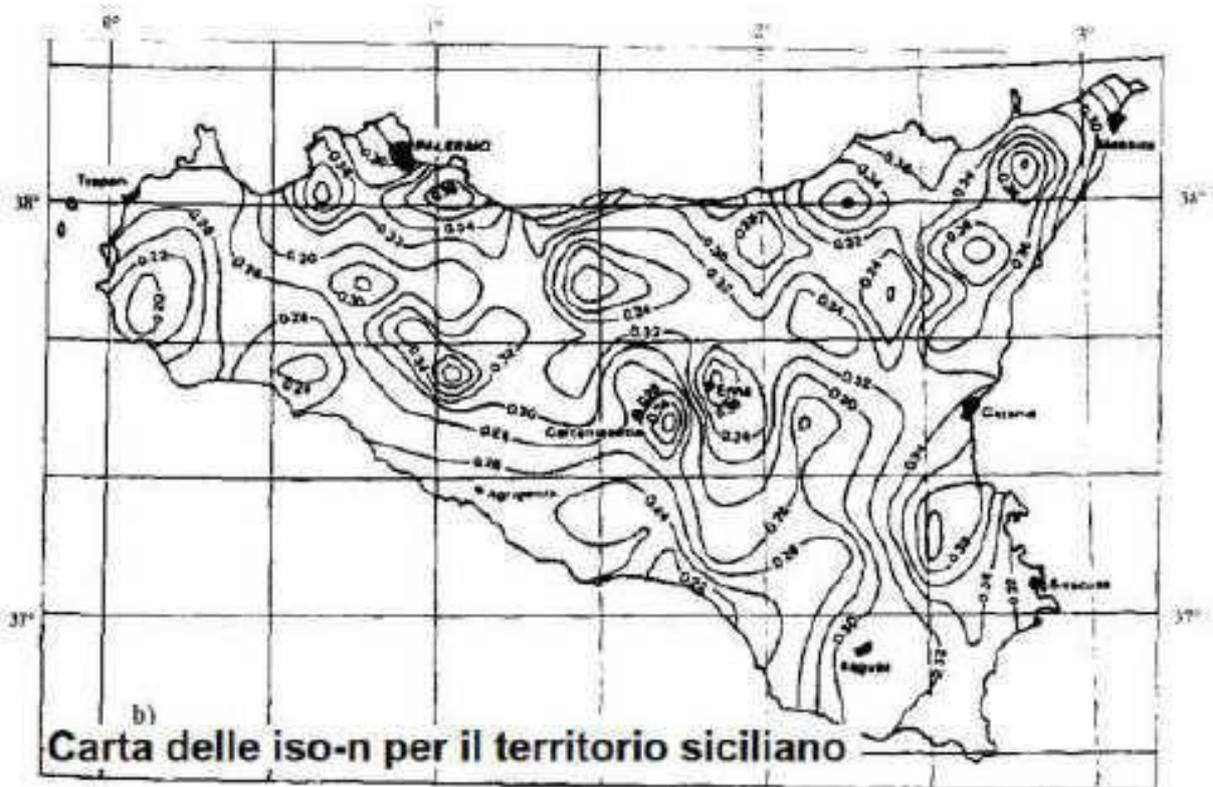
Figura 1 Suddivisione in sottozone omogenee effettuata nell'ambito del progetto VAPI

Nel terzo livello di regionalizzazione, per ciascuna stazione siciliana, si sono confrontate le medie teoriche K con le medie campionarie M_c , riscontrando che possono ritenersi, con buona approssimazione, coincidenti. Pertanto è stato possibile determinare un legame di tipo monomio per la media M_c , relativa alle durate di

precipitazione considerate (1, 3, 6, 12 e 24 ore), per ciascuna delle stazioni pluviografiche siciliane, secondo l'espressione:

$$\mu = M_c(t) = a, t^{nr}$$

Per alcune stazioni pluviografiche siciliane sono stati elaborati e tabellati i valori delle costanti ar ed nr, in mancanza si pro procedere per interpolazione con l'ausilio delle carte iso a ed iso n.



Per la stazione pluviografica di Sciacca, ricadente nella sottozona omogenea "A" si ha:

Parametri TCV Studio Regionalizzazione	a_r [mm/h ⁰]	n_r
		28,3

L'espressione della curva di possibilità pluviometrica delle piogge di durata 1-24 ore, secondo il metodo T.C.E.V., anche se matematicamente definita, assume una forma diversa dalla forma usuale ($h = at^n$). Mediante i tre livelli di regionalizzazione, applicandole equazioni sopra indicate, si determina per un assegnato tempo di ritorno TR, l'altezza di pioggia probabile $h(t,TR)$ in funzione della durata.

Riportando su scala logaritmica le coppie di dati $t - h(t,TR)$ ed effettuando una regressione lineare ai minimi quadrati, si ottengono i parametri "a" e "n" della curva di possibilità pluviometrica per ogni assegnato tempo di ritorno (CPP).

Si riportano di seguito i tabulati e le curve di possibilità pluviometrica (CPP) per la stazione di Sciacca per i tempi di ritorno 25, 50, 100, 200,300 e 500 anni.

Durata t (ore)	Tempo di Ritorno T (anni)	h'(t,T)	Mc(t) [mm]	Altezza di pioggia probabile h(t,T) [mm]
1	25	1,93	28,30	54,69
2	25	1,93	34,11	65,95
3	25	1,94	38,05	73,62
4	25	1,94	41,11	79,65
5	25	1,94	43,66	84,70
6	25	1,94	45,86	89,12
7	25	1,95	47,80	93,09
8	25	1,95	49,55	96,73
9	25	1,96	51,15	100,12
10	25	1,96	52,62	103,31
11	25	1,97	53,99	106,35
12	25	1,98	55,27	109,27
13	25	1,98	56,48	112,08
14	25	1,99	57,62	114,83
15	25	2,00	58,70	117,51
16	25	2,01	59,73	120,14
17	25	2,02	60,71	122,74
18	25	2,03	61,65	125,31
19	25	2,04	62,56	127,86
20	25	2,06	63,43	130,41
21	25	2,07	64,27	132,95
22	25	2,08	65,08	135,49
23	25	2,10	65,86	138,04
24	25	2,11	66,62	140,60

Equazione curva di possibilità pluviometrica $h = 52,98 t^{0,297}$

Curva di probabilità pluviometrica TR 25 anni

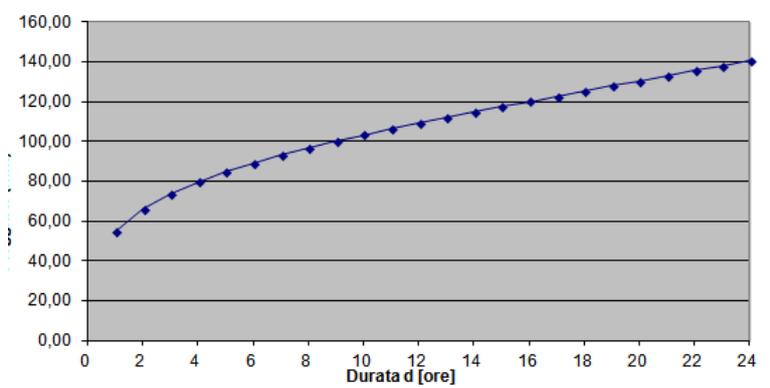


Figura 2 Curva di possibilità pluviometrica TR 25 anni

Durata t (ore)	Tempo di Ritorno T (anni)	$h'(t,T)$	$Mc(t)$ [mm]	Altezza di pioggia probabile $h(t,T)$ [mm]
1	50	2,23	28,30	63,19
2	50	2,23	34,11	76,22
3	50	2,24	38,05	85,10
4	50	2,24	41,11	92,08
5	50	2,24	43,66	97,95
6	50	2,25	45,86	103,09
7	50	2,25	47,80	107,71
8	50	2,26	49,55	111,95
9	50	2,27	51,15	115,90
10	50	2,27	52,62	119,64
11	50	2,28	53,99	123,19
12	50	2,29	55,27	126,61
13	50	2,30	56,48	129,92
14	50	2,31	57,62	133,15
15	50	2,32	58,70	136,31
16	50	2,33	59,73	139,41
17	50	2,35	60,71	142,48
18	50	2,36	61,65	145,53
19	50	2,37	62,56	148,55
20	50	2,39	63,43	151,57
21	50	2,41	64,27	154,59
22	50	2,42	65,08	157,62
23	50	2,44	65,86	160,65
24	50	2,46	66,62	163,70

Equazione curva di possibilità pluviometrica $h = 61,06 t^{0,000}$

Curva di probabilità pluviometrica TR 50 anni

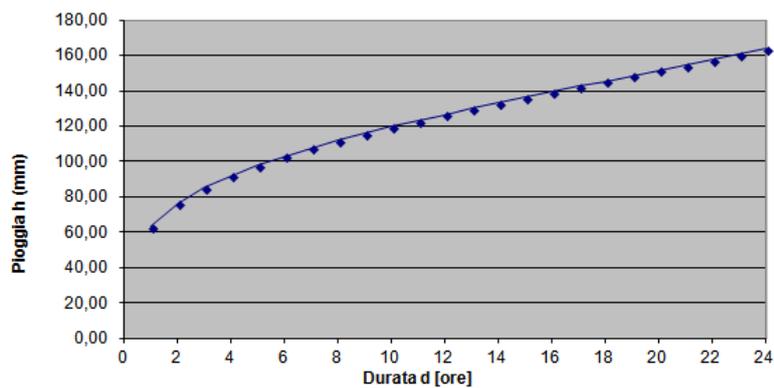


Figura 3 Curva di possibilità pluviometrica TR 50 anni

Durata t (ore)	Tempo di Ritorno T (anni)	$h'(t,T)$	$Mc(t)$ [mm]	Altezza di pioggia probabile $h(t,T)$ [mm]
1	100	2,53	28,30	71,70
2	100	2,54	34,11	86,49
3	100	2,54	38,05	96,58
4	100	2,54	41,11	104,52
5	100	2,55	43,66	111,20
6	100	2,55	45,86	117,05
7	100	2,56	47,80	122,32
8	100	2,57	49,55	127,17
9	100	2,57	51,15	131,69
10	100	2,58	52,62	135,96
11	100	2,59	53,99	140,04
12	100	2,60	55,27	143,96
13	100	2,62	56,48	147,76
14	100	2,63	57,62	151,47
15	100	2,64	58,70	155,11
16	100	2,66	59,73	158,69
17	100	2,67	60,71	162,23
18	100	2,69	61,65	165,74
19	100	2,71	62,56	169,24
20	100	2,72	63,43	172,74
21	100	2,74	64,27	176,23
22	100	2,76	65,08	179,74
23	100	2,78	65,86	183,26
24	100	2,80	66,62	186,81

Equazione curva di possibilità pluviometrica $h = 69,14 t^{0,202}$

Curva di probabilità pluviometrica TR 100 anni

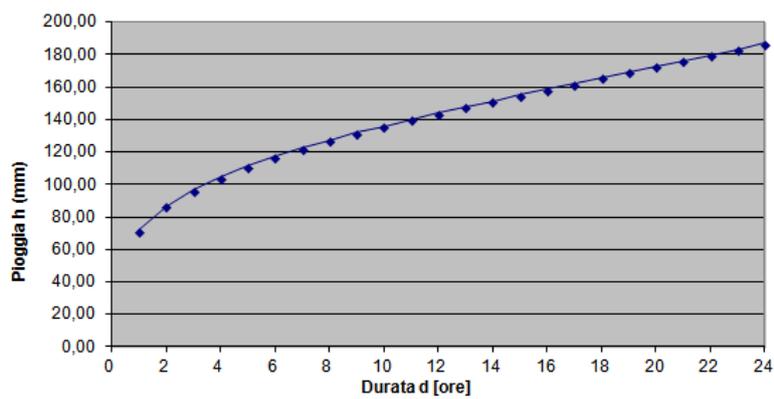


Figura 4 Curva di possibilità pluviometrica TR 100 anni

Durata t (ore)	Tempo di Ritorno T (anni)	h'(t,T)	Mc(t) [mm]	Altezza di pioggia probabile h(t,T) [mm]
1	200	2,83	28,30	80,20
2	200	2,84	34,11	96,75
3	200	2,84	38,05	108,06
4	200	2,84	41,11	116,95
5	200	2,85	43,66	124,45
6	200	2,86	45,86	131,02
7	200	2,86	47,80	136,94
8	200	2,87	49,55	142,39
9	200	2,88	51,15	147,47
10	200	2,89	52,62	152,28
11	200	2,91	53,99	156,88
12	200	2,92	55,27	161,30
13	200	2,93	56,48	165,60
14	200	2,95	57,62	169,79
15	200	2,96	58,70	173,90
16	200	2,98	59,73	177,96
17	200	3,00	60,71	181,97
18	200	3,02	61,65	185,96
19	200	3,04	62,56	189,93
20	200	3,06	63,43	193,90
21	200	3,08	64,27	197,88
22	200	3,10	65,08	201,87
23	200	3,13	65,86	205,88
24	200	3,15	66,62	209,92

Equazione curva di possibilità pluviometrica $h = 77,23 t^{0,300}$

Curva di probabilità pluviometrica TR 200anni

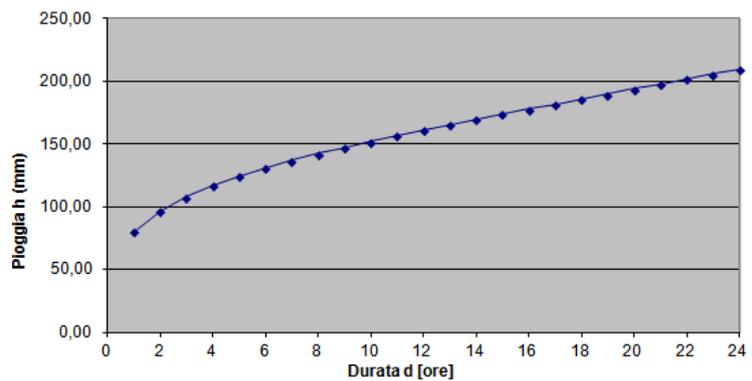


Figura 5 Curva di possibilità pluviometrica TR 200 anni

Durata t (ore)	Tempo di Ritorno T (anni)	h'(t,T)	Mc(t) [mm]	Altezza di pioggia probabile h(t,T) [mm]
1	300	3,01	28,30	85,17
2	300	3,01	34,11	102,76
3	300	3,02	38,05	114,77
4	300	3,02	41,11	124,23
5	300	3,03	43,66	132,20
6	300	3,04	45,86	139,19
7	300	3,04	47,80	145,49
8	300	3,05	49,55	151,29
9	300	3,06	51,15	156,71
10	300	3,08	52,62	161,83
11	300	3,09	53,99	166,73
12	300	3,10	55,27	171,45
13	300	3,12	56,48	176,03
14	300	3,13	57,62	180,51
15	300	3,15	58,70	184,90
16	300	3,17	59,73	189,23
17	300	3,19	60,71	193,52
18	300	3,21	61,65	197,79
19	300	3,23	62,56	202,04
20	300	3,25	63,43	206,28
21	300	3,28	64,27	210,54
22	300	3,30	65,08	214,81
23	300	3,33	65,86	219,10
24	300	3,35	66,62	223,43

Equazione curva di possibilità pluviometrica $h = 81,96 t^{0,304}$

Curva di probabilità pluviometrica TR 300 anni

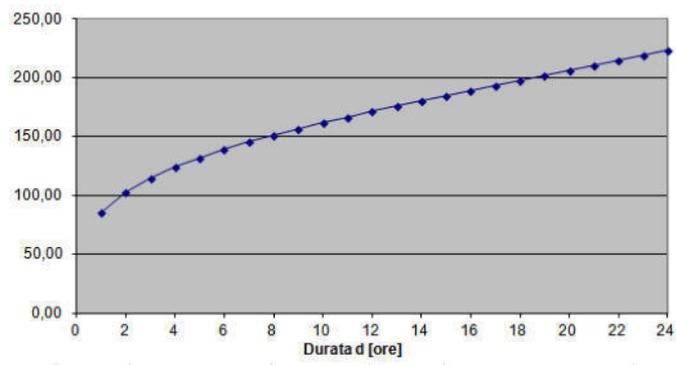


Figura 6 Curva di possibilità pluviometrica TR 300 anni

Durata t (ore)	Tempo di Ritorno T (anni)	h(t,T)	Mc(t) [mm]	Altezza di pioggia probabile h(t,T) [mm]
1	500	3,23	28,30	91,44
2	500	3,23	34,11	110,32
3	500	3,24	38,05	123,23
4	500	3,24	41,11	133,39
5	500	3,25	43,66	141,96
6	500	3,26	45,86	149,48
7	500	3,27	47,80	156,26
8	500	3,28	49,55	162,50
9	500	3,29	51,15	168,34
10	500	3,30	52,62	173,86
11	500	3,32	53,99	179,14
12	500	3,33	55,27	184,23
13	500	3,35	56,48	189,18
14	500	3,37	57,62	194,01
15	500	3,39	58,70	198,76
16	500	3,41	59,73	203,44
17	500	3,43	60,71	208,08
18	500	3,45	61,65	212,69
19	500	3,47	62,56	217,29
20	500	3,50	63,43	221,88
21	500	3,52	64,27	226,49
22	500	3,55	65,08	231,12
23	500	3,58	65,86	235,77
24	500	3,61	66,62	240,46

Equazione curva di possibilità pluviometrica $h = 87,92 t^{0,306}$

Curva di probabilità pluviometrica TR 500 anni

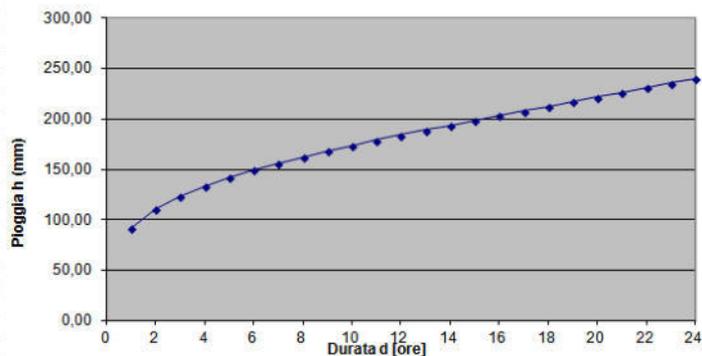


Figura 7 Curva di possibilità pluviometrica TR 500 anni

h = at ⁿ	Tempo di Ritorno [anni]	a [mm/h ⁿ]	n
	25	52,98	0,297
	50	61,06	0,300
	100	69,14	0,302
	200	77,23	0,303
	300	81,96	0,304
500	87,92	0,305	

Figura 8 CPP per eventi meteorici di durata superiore a 1 ora

2. Portate di progetto

La stima delle portate di piena per i bacini principali è stata condotta secondo le indicazioni sviluppate dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche nell'ambito del Progetto V.A.P.I., rielaborando l'applicazione della formula razionale, espressa in forma probabilistica, per la stima della portata al colmo di piena di assegnata frequenza probabile:

$$X_Q = \frac{\varphi h_{t_c, T} S}{3.6 t_c} = \frac{K(T, t) \psi h_{t_c, T} S}{3.6 t_c}$$

dove **S** è la superficie del bacino, **t_c** il tempo di corrivazione, **φ** il coefficiente di deflusso, **h_{t_c,T}** l'altezza di pioggia per una durata pari al tempo di corrivazione **t_c** con assegnato tempo di ritorno.

Il tempo di corrivazione **t_c** è calcolato con la formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_M - H_0}} \quad [\text{ore}]$$

dove **S** [km²] è l'area del bacino sotteso dalla sezione di calcolo, **L** [km] la lunghezza del maggiore percorso che deve compiere la singola particella d'acqua per raggiungere la sezione di calcolo (lunghezza dell'asta principale del bacino), **H_M** [m s.l.m.] la quota media del bacino, **H₀** [m s.l.m.] la quota della sezione di chiusura, di seguito si riporta il tempo di corrivazione:

Sezione di Calcolo	A [Km ²]	L [Km]	Hm [mslm]	Ho [mslm]	i med [%]	tc [ore]	Tempo di ritorno [anni]
Torrente Bagni foce	4,93	4,13	346,00	0,00	8,38%	1,013	300
	4,93	4,13	346,00	0,00	8,38%	1,013	200
	4,93	4,13	346,00	0,00	8,38%	1,013	100
	4,93	4,13	346,00	0,00	8,38%	1,013	50

L'equazione del coefficiente di deflusso **φ**, introducendo le distribuzioni dei massimi annuali delle portate al colmo e dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata che si abbattano sul bacino, assume l'espressione:

$$\varphi = K(t_c, T_r) \psi$$

dove ψ è il coefficiente medio di deflusso che rappresenta un fattore di scala legato ai valori medi dei parametri idrologici del bacino (caratteristiche geologiche riguardanti la permeabilità dei suoli, stato della copertura vegetale, contenuto idrico iniziale), mentre $K(t_c, T_R)$ è un fattore di frequenza che amplifica il coefficiente medio ψ in relazione alla durata t e al tempo di ritorno dell'evento T_R .

La valutazione di K si basa sulla conoscenza delle distribuzioni di probabilità delle piogge e delle portate di piena al colmo nel territorio, mentre quella di ψ sulle caratteristiche dei suoli e dello stato di copertura vegetale. Per la determinazione del fattore di frequenza $K(t_c, T_R)$ lo studio di regionalizzazione propone la seguente espressione:

$$K(t_c, T_R) = \frac{b + c \cdot \log T_R}{d + e \cdot t + (f \cdot t^2 + g \cdot t + h) \log T_R}$$

dove i coefficienti b, c, d, e, f, g, h sono funzione del territorio di ciascuna delle sottozone in cui viene suddivisa la Sicilia, e dipendono dal tempo di ritorno T_R e dalla durata di pioggia t .

Sottozona	b	c	d	e	f	g	h
A	0.3232	1.6171	0.5391	-0.00164	0.000221	0.00117	0.9966
B	0.267	1.7503	0.5135	-0.00226	0.000198	0.00329	1.0508
C	0.1785	1.9611	0.5015	-0.00352	0.000372	0.00102	1.1014

Figura 9 Coefficienti per il calcolo del fattore di frequenza $K(t_c, T_R)$

Per quanto riguarda la stima del coefficiente medio di deflusso Ψ sono state proposte varie correlazioni in funzione delle caratteristiche dei terreni e della copertura vegetale del suolo, che hanno portato alla seguente espressione:

$$\Psi = \frac{12.3}{S_p + S_B}$$

Dove S_p è la percentuale di superficie permeabile del bacino idrografico sotteso dalla sezione di calcolo e S_B la percentuale di superficie ricoperta da boschi.

La classificazione dei suoli si basa su una valutazione empirica delle caratteristiche granulometriche e tessiture che le varie formazioni geologiche e le loro coltri di alterazione assumono in superficie in funzione dei litotipi di cui sono costituite. L'esigenza di adottare un criterio applicabile a scala di bacino, ha

indotto il gruppo di studio del Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche nell'ambito del progetto VAPI, a classificare la permeabilità dello strato superficiale in tre soli gruppi:

- **P = Permeabile:**

Al detrito di falda, più o meno diffusamente presente alla base dei rilievi in quasi tutti i bacini esaminati, alle alluvioni ghiaiose ed alle calcareniti plio-pleistoceniche, essendo depositi caratterizzati da un'elevata porosità non impedita, si è attribuita una permeabilità primaria elevata.

Strato Superficiale Permeabile	Strato Superficiale Mediamente Permeabile	Strato Superficiale A Bassa Permeabile
<ul style="list-style-type: none"> - Alluvioni ghiaiose (Oligocene) - Detrito di falda costituito da elementi lapidei in scarsa matrice limo-sabbiosa - Calcareniti bioclastiche, sabbie, arenarie e conglomerati (Tortoniano - Miocene sup.) - Gessi solentini e calcareniti, calcareniti e tufo grossolani (Messiniano) - Calcari eterogenei maculari, brecciosi e compatti (Messiniano) - Conglomerati sabbiosi ed arenarie (Tortoniano) - Quarzareniti, ed arenarie quarzose in breccia con scarse intercalazioni calcaree (Miocene inf. - Oligocene) - Calcareniti e calcari maculari (Eocene inf. - Gass sup.) - Calcari detritici e detrito organogeni (Cretaceo inf. - Gass sup.) - Dolomie maculari o brecciate calcari dolomitici a grossi strati (Trias sup. - Lias inf.) - Calcari, talora dolomitici a grossi strati o gessi, stratificati, con venti intercalazioni maculari e strati di sabbie (Trias sup. - Cretaceo inf.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Detrito di falda calcareo a grossi noduli fini (Oligocene) - Depositi alluvionali terrazzati e detritici a granulometria eterogenea (Quaternario) - Sabbie, arenarie ed argille sabbiose (Pliocene sup.) - Marna, calcari arenari a matrice argillosa (Pliocene inf.) - Dintorni con intercalazioni argille - arenarie (Miocene inf.) - Marna sabbiosa, sabbie e conglomerati (Tortoniano sup. - Messiniano) - Marna, sabbie argillose ed argille sabbiose (Miocene medio) - Calcareniti calcaree e arenarie (Miocene inf.) - Quarzareniti in fine sabbie con pebbles e silti (Oligocene sup. - Miocene inf.) - Argille arenose con intercalazioni di sabbie, conglomerati e breccie (Eocene sup. - Oligocene) - Calcari e calcari maculari stratificati con intercalazioni di marna ed argille arenose (Eocene sup. - Oligocene) - Marna calcarea e calcari maculari duri e compatti, con rare intercalazioni di argille e marna sabbiosa (Eocene medio - sup.) - Calcareniti calcaree e arenarie compatte con pebbles sono comuni per argillose (Cretaceo sup. - Eocene medio - sup.) - Marna, calcari calcaree, talora ad argille stratificate con intercalazioni di calcari detritici (Cretaceo medio - Lias sup.) - Calcareniti, arenarie e marna argillose, stratificate con intercalazioni calcari detritici e letti di sabbie (Trias sup.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Liti polverosi ed arenarie a grossi fini (Quaternario) - Argille e marna argillose (Pliocene medio) - Argille gessose (Messiniano) - Argille sabbie e fetture calcaree con rare intercalazioni di sabbie (Tortoniano) - Argille e argille arenose e sabbie con cristalli di gesso (Miocene medio-sup.) - Marna argillosa inglobanti letti di sabbie brecciate (Miocene medio-sup.) - Argille sabbie sabbie, con rare e scarse intercalazioni di arenarie quarzose (Oligocene sup. - Miocene inf.) - Marna argillosa con venti tratti stratificati (Miocene inf. - Tortoniano) - Argille argillose e calcaree inglobanti letti di sabbie stratificati (Eocene-Cretaceo sup.)

Figura 10 Classificazione dei suoli in funzione della permeabilità superficiale

Le formazioni calcaree e dolomitiche, pur essendo costituite da rocce poco porose, presentano nella generalità dei casi una permeabilità secondaria elevata strettamente dipendente dall'intenso stato di fratturazione dell'ammasso roccioso prodottosi in conseguenza degli eventi tettonici. Questi ultimi, in Sicilia, nei riguardi delle unità stratigrafico-strutturali a costituzione

prevalentemente carbonatica, sono essenzialmente riconducibili a fenomeni di sovrascorrimento su formazioni plastiche e a dislocazioni neotettoniche.

I processi di dissoluzione carsica, che tendono a svilupparsi o che si sono sviluppati preferenzialmente lungo le giaciture delle superfici strutturali, se da un lato producono, attraverso l'allargamento delle fessure e la creazione di grandi cavità, un incremento anche molto cospicuo della permeabilità secondaria, dall'altro possono produrre localmente una riduzione della permeabilità per effetto dell'accumulo di prodotti residuali (terre rosse) a grana fine o finissima, talora molto addensati, con permeabilità molto bassa. Entrambi questi aspetti sono ampiamente riconoscibili sul Massiccio delle Madonne (Bacino Pollina ad Acquileia) e sui Monti di Palenno (Eleuterio a Risalaimi Nocella a Zucco). In presenza di pareti calcaree o dolomitiche sub-verticali o molto pendenti, come quelle della Rocca Busambra che delimita lo spartiacque del bacino Eleuterio a Risalaimi del Pizzo Parrino e delle propaggini sud-orientali del gruppo del Pizzo Cervo, che costituiscono i lineamenti fisiografici più notevoli del medesimo bacino, la permeabilità, pur mantenendosi sempre elevata, presenta una certa variabilità in dipendenza della frequenza e dell'orientazione delle superfici di discontinuità in rapporto alla superficie topografica. Ove la configurazione morfologica abbia invece consentito l'accumulo dei prodotti della disgregazione e dell'alterazione di litotipi carbonatici e lo sviluppo di processi pedogenetici, la permeabilità dei livelli superficiali si riduce sensibilmente, pur mantenendosi buone le capacità drenanti della coltre colluviale. Di conseguenza, pur considerando che la permeabilità dello strato superficiale può subire sia incrementi che decrementi per fenomeni carsici o processi pedogenetici, agli areali di distribuzione di formazioni calcareo dolomitiche, affioranti, o sepolte da una coltre colluviale, si è attribuita una permeabilità relativa elevata. Agli ammassi ed agli areali di affioramento costituiti da areniti calcaree o quarzose, conglomerati, rocce caratterizzate da valori alti o medi di porosità non impedita, compete generalmente anche una notevole permeabilità secondaria, per fratturazione, che tuttavia si riduce in presenza di frequenti, potenti o fitte intercalazioni pelitiche. Con l'esclusione di quest'ultimo caso, che viene inserito nella classe successiva, i prodotti dell'alterazione e della disgregazione di tali litotipi danno luogo a depositi superficiali essenzialmente costituiti da sabbie addensate caratterizzate da una notevole permeabilità per porosità. Permeabilità elevata è stata attribuita anche alle calcilutiti ed ai gessi, sempre limitatamente ai casi in cui gli interstrati argillosi o marnosi siano in quantità nettamente subordinata, talché dall'alterazione o dalla disgregazione di tali materiali traggono origine coltri superficiali caratterizzate da una frazione ghiaiosa nettamente prevalente.

- **MP = Mediamente Permeabile**

Agli areali di distribuzione di formazioni costituite da alternanze di litotipi eterogenei (depositi alluvionali, deltizi, da slumpings, flysch), caratterizzati da una frazione granulometrica medio fine circa uguale a quella di materiale grossolano, si è attribuita una permeabilità media. In modo analogo sono state classificate le formazioni marnose, calcareo-marnose, argillitico-radiolaritiche, sia in presenza di affioramenti di roccia nuda, sia in presenza di coltri colluviali. Infatti nel primo caso la permeabilità primaria della roccia è ridotta per la bassa porosità del materiale e la permeabilità secondaria è limitata sia dalla frequente presenza di interstrati di peliti sciolte, sia dalla frazione limosa che persiste, intasando le fratture nei processi di dissoluzione della componente lapidea. Nel secondo caso la coltre superficiale, ricca di tali prodotti residuali, ingloba abbondanti frammenti di materiale lapideo. Le diatomiti, sono state considerate di media permeabilità, nonostante l'elevata porosità del materiale, per la presenza delle esilissime, ma frequentissime laminazioni argilloso-marnose che vi si rinvencono, e che danno luogo a coltri colluviali di materiali a grana fine.

- **BP = Bassa Permeabilità**

Agli areali di distribuzione di formazioni schiettamente argillose, o a prevalente composizione argillosa, è stata attribuita una bassa permeabilità, infatti, nonostante i processi pedogenetici determinino un incremento delle proprietà adsorbenti della coltre superficiale e nel materiale esposto agli agenti meteorici si producano delle microdiscontinuità da sineresi, la capacità drenante della coltre colluviale permane ridottissima e dipende sensibilmente dal contenuto d'acqua inizialmente presente nel materiale.

Ai fini del presente studio rileva il calcolo della portata di piena con tempo di ritorno pari a 300 anni, in quanto in ottemperanza alle NTC 2018 si deve verificare che il franco disponibile tra l'intradosso della soletta dell'attraversamento ed il profilo dell'onda di piena sia maggiore o uguale a 1,50 mt.

Si riportano di seguito i parametri per il caso di studio:

Sezione di Calcolo	A [Km2]	L [Km]	S _p [%]	S _B [%]	Ψ	Tempo di ritorno [anni]	k	Φ
Torrente Bagni foce	4,93	4,131	18,739	1,994	0,59325	300	1,4384	0,853
	4,93	4,131	18,739	1,994	0,59325	200	1,4271	0,847
	4,93	4,131	18,739	1,994	0,59325	100	1,4042	0,833
	4,93	4,131	18,739	1,994	0,59325	50	1,3751	0,816

2.1. Calcolo delle portate di progetto

In relazione al diverso rischio idraulico espresso dal tempo di ritorno TR, è stata determinata la portata di progetto. In particolare si è utilizzato il metodo razionale modificato proposto dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche nell'ambito del Progetto VAPI per il calcolo delle portate di verifica dei ponti e dei viadotti.

Le portate di verifica di ponti e viadotti sono utilizzate nello studio idraulico e i risultati sono riportati nella seguenti tabelle:

Sezione di Calcolo	A [Km ²]	L [Km]	Hm [mslm]	Ho [mslm]	i med [%]	tc [ore]	Tempo di ritorno [anni]	ϕ	a [mm/h ⁿ]	n	h _{tc} [mm]	XQ [mc/s]
Torrente Bagni foce	4,93	4,13	346,00	0,00	8,38%	1,013	300	0,85	81,9577	0,3040	82,29	94,90
	4,93	4,13	346,00	0,00	8,38%	1,013	200	0,85	77,2281	0,3032	77,54	88,72
	4,93	4,13	346,00	0,00	8,38%	1,013	100	0,83	69,1432	0,3017	69,42	78,15
	4,93	4,13	346,00	0,00	8,38%	1,013	50	0,82	61,0592	0,2998	61,30	67,59

Figura 11 Portata di progetto

3. Verifica compatibilità idraulica

Ai fini della verifica della compatibilità idraulica del presente intervento di sistemazione idraulica del torrente bagni viene assunta come portata di progetto la portata sottesa alla sezione di chiusura corrispondente con la foce del medesimo corso d'acqua, calcolata per un tempo di ritorno pari a 300 anni.

Nella "Carta del Bacino imbrifero" è riportato l'inquadramento del reticolo idrografico, mentre nella "planimetria di progetto" e nell'elaborato "interventi progettuali" sono individuate le opere di regimentazione in progetto.

Il tratto oggetto del presente studio è stato suddiviso in sezioni trasversali e per ogni sezione è stata determinata l'altezza dell'onda di piena corrispondente ad una portata con tempo di ritorno pari a 300 anni.

Nelle sezioni, nota la portata, fissate le condizioni al contorno, la nuova geometria del canale, si effettua il calcolo di verifica, ipotizzando per il tratto a monte, un funzionamento della corrente in moto uniforme.

Nelle verifiche si è assunto un indice di scabrezza (Glauckler-Strickler) pari a: $c = 40$ [m^{1/3}/s].

Nei tabulati di verifica di seguito allegati sono riportate:

- nome sezione;
- portata Q_{prog} di calcolo;
- larghezza e altezza del canale;
- pendenza longitudinale del tratto in %;
- portata massima Q_{max} che il canale lascia passare con la pendenza i ;
- tirante idrico h corrispondente alla Q_{max}
- tirante idrico h_{TR300} e la velocità V della corrente idrica di portata pari a quella di calcolo Q_{prog} ;
- grado di riempimento espresso in percento di tirante sul totale.

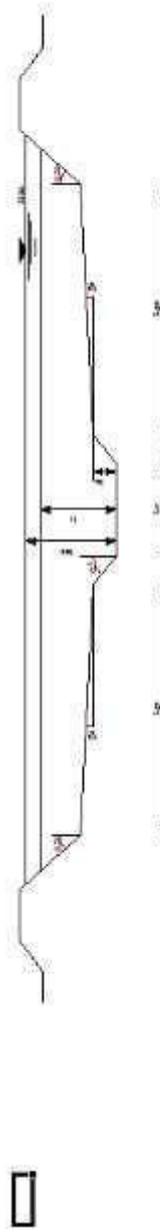
Si riportano di seguito le tabelle di calcolo per le sezioni significative:

CALCOLI VERIFICA IDRICA CAMALE A SEZIONE COMPLESSA

I calcoli di verifica del canale a pelo libero sono elaborati nell'ipotesi di moto uniforme, utilizzando l'equazione di continuità Q = V S ed adottando la formula di Chézy per la velocità V in m/s

$$Q = v \cdot X \cdot R \cdot I$$

- Q [m³/s] = Area della sezione idraulica
- X [m^{0.5}/Sec] = Coefficiente di resistenza
- X = 0.748 secondo Glaukoller-Strickler
- v [m³/Sec] = Indice di sovrabbondanza
- R [m] = Raggio idraulico
- I [%] = Pendenza fondo canale



Tratta (sezione)	Cotena sinistra			Canale di magra			Cotena destra			Pendenza	Portata Qmax [m ³ /sec]	Verifica Qmax [m ³ /sec]	Veloc. Vcanal [m/sec]	Fianco max h [m]	Raggio max Rmax [m]	Tirzo TR300 h [m]	Raggio TR300 RTR300 [m]	Veloc. VTR300 [m/sec]	Tirzo TR300 h [m]	Raggio TR300 RTR300 [m]	Veloc. VTR300 [m/sec]					
	Angolo apice [gradi]	Larg. oriz. Lgr [m]	Altezza L [m]	Angolo oriz. Lgr [gradi]	Altezza L [m]	Angolo oriz. Lgr [gradi]	Angolo oriz. Lgr [gradi]	Altezza L [m]	Angolo oriz. Lgr [gradi]													Angolo oriz. Lgr [gradi]				
57-61	45.00	1.00	40.00	0.00	8.00	1.00	2.10	45.00	40.00	45.00	1.00	40.00	0.00	0.30	94.90	101.57	verifica ok	5.31	1.33	90.00	1.83	1.29	5.19	87.14		
56	45.00	1.00	40.00	0.00	5.00	1.00	2.00	45.00	40.00	45.00	1.00	40.00	0.00	2.23	94.90	98.77	verifica ok	7.76	0	1.80	1.34	90.00	1.77	1.13	2.67	88.50
52-55	45.00	1.00	40.00	0.00	5.00	1.00	2.00	45.00	40.00	45.00	1.00	40.00	0.00	2.23	94.90	98.77	verifica ok	7.76	0	1.80	1.34	90.00	1.77	1.13	2.67	88.50
51	0.00	1.00	40.00	0.00	5.00	1.00	2.00	45.00	40.00	45.00	1.00	40.00	0.00	2.23	94.90	97.20	verifica ok	7.76	0	1.80	1.35	90.00	1.77	1.13	2.67	88.50
47-50	45.00	1.00	40.00	0.00	5.00	1.00	2.00	45.00	40.00	45.00	1.00	40.00	0.00	2.70	94.90	95.85	verifica ok	7.53	0	1.80	1.34	90.00	1.80	1.14	2.53	90.00
47-49	45.00	0.55	40.00	0.00	5.50	1.87	2.50	3.00	48.00	45.00	0.55	40.00	0.00	1.53	94.90	104.46	verifica ok	7.86	5	2.38	1.21	95.00	2.25	1.18	7.38	90.00
45-46	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	2.20	2.20	3.00	49.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.27	94.90	98.23	verifica ok	8.38	5	2.09	1.21	95.00	2.07	1.21	6.38	94.03
41-45	45.00	0.55	40.00	0.00	5.50	1.74	2.55	3.00	48.00	45.00	0.55	40.00	0.00	3.00	94.90	103.91	verifica ok	10.57	0	2.30	1.18	90.00	1.86	1.01	9.18	72.94
39-40	45.00	1.00	40.00	0.00	5.00	1.00	2.00	45.00	40.00	45.00	1.00	40.00	0.00	2.32	94.90	100.87	verifica ok	7.91	0	1.80	1.34	90.00	1.76	1.12	7.79	88.00
30-33	45.00	1.00	40.00	0.00	5.00	1.00	2.00	45.00	40.00	45.00	1.00	40.00	0.00	2.53	94.90	105.21	verifica ok	8.27	0	1.80	1.34	90.00	1.72	1.10	7.99	86.00
28-29	72.00	0.50	40.00	0.00	5.00	1.00	2.00	45.00	40.00	45.00	1.00	40.00	0.00	2.52	94.90	103.88	verifica ok	8.25	0	1.80	1.03	90.00	1.72	1.05	7.93	88.19
25	29.00	0.50	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	72.00	1.64	40.00	0.00	2.52	94.90	109.95	verifica ok	8.55	0	1.69	1.32	90.00	1.70	1.02	7.90	80.78
23-24	44.00	0.36	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	78.00	0.50	40.00	0.00	2.66	94.90	104.34	verifica ok	8.78	0	1.89	1.07	90.00	1.69	0.99	8.12	80.70
21-22	59.00	0.36	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	71.00	3.82	40.00	0.00	2.66	94.90	106.52	verifica ok	8.78	0	1.89	1.04	90.00	1.61	0.88	7.83	75.80
20-21	59.00	0.36	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	63.00	0.30	40.00	0.00	2.66	94.90	106.06	verifica ok	8.78	0	1.89	1.17	90.00	1.71	0.88	8.17	87.43
17	69.00	0.50	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	45.00	0.50	40.00	0.00	2.53	94.90	103.91	verifica ok	8.57	0	1.89	1.16	90.00	1.73	1.12	8.02	82.19
16	49.00	0.50	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	55.00	0.50	40.00	0.00	2.53	94.90	112.40	verifica ok	8.57	0	1.89	1.20	90.00	1.73	1.12	8.05	82.62
14	49.00	0.50	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	24.00	0.50	40.00	0.00	2.17	94.90	102.30	verifica ok	7.93	0	1.69	1.23	90.00	1.82	1.16	7.71	86.57
13	48.00	0.50	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	55.00	0.50	40.00	0.00	2.17	94.90	103.95	verifica ok	7.93	0	1.69	1.21	90.00	1.80	1.16	7.67	85.94
12	18.00	0.50	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	50.00	0.50	40.00	0.00	2.17	94.90	102.27	verifica ok	7.93	0	1.69	1.23	90.00	1.82	1.16	7.72	86.67
11	24.00	0.50	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	54.00	1.00	40.00	0.00	2.37	94.90	105.63	verifica ok	8.29	0	1.69	1.21	90.00	1.76	0.99	7.87	87.81
10	71.00	1.58	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	59.00	1.00	40.00	0.00	2.37	94.90	105.63	verifica ok	8.29	0	1.69	1.21	90.00	1.76	0.99	7.87	87.81
9	42.00	1.52	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	45.00	1.00	40.00	0.00	2.07	94.90	87.07	verifica ok	7.75	0	1.89	1.18	90.00	1.79	0.99	7.45	85.24
8	42.00	1.52	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	25.00	1.00	40.00	0.00	2.07	94.90	105.10	verifica ok	7.75	0	1.69	1.20	90.00	1.79	1.16	7.45	85.24
5-7	32.00	0.50	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	16.00	0.50	40.00	0.00	2.43	94.90	117.06	verifica ok	8.40	0	1.69	1.25	90.00	1.77	1.18	7.99	84.00
4	59.00	1.45	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	57.00	0.50	40.00	0.00	2.43	94.90	105.56	verifica ok	8.40	0	1.69	1.16	90.00	1.72	1.18	7.84	81.90
3	59.00	1.00	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	40.00	10.00	40.00	0.00	2.43	94.90	104.84	verifica ok	8.40	0	1.69	0.97	90.00	1.86	1.16	7.84	75.05
2	45.00	0.50	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	49.00	0.50	40.00	0.00	5.90	94.90	110.36	verifica ok	13.00	0	1.69	1.22	90.00	1.40	0.94	10.51	66.73
pk 10.35	45.00	1.50	40.00	0.00	5.00	1.00	4.00	45.00	40.00	49.00	1.50	40.00	0.00	5.90	94.90	683.59	verifica ok	20.62	0	3.60	2.13	90.00	1.38	0.94	10.39	34.50
pk 152.85	24.00	0.50	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	54.00	0.00	40.00	0.00	2.37	94.90	105.63	verifica ok	8.29	0	1.69	1.21	90.00	1.76	0.99	7.87	83.81
pk 201.25	0.00	1.10	40.00	0.00	4.16	0.79	4.30	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.17	94.90	217.85	verifica ok	11.93	0	3.87	1.54	90.00	2.36	0.94	8.51	54.88
pk 217.48	0.00	1.50	40.00	0.00	5.00	1.00	2.10	45.00	40.00	41.00	0.50	40.00	0.00	2.53	94.90	101.56	verifica ok	8.70	0	1.89	1.26	90.00	1.40	0.94	7.01	66.73