

Valutazione dell'attrattività di mercato delle imprese di riparazione di carrozze ferroviarie sulla base di analisi di esperti

Evaluating market attractiveness of railway car repair companies based on expert analysis

Vladimir TETTER (*)
Oleg GATELIUK (*)
Inna DENISOVA (**)

1. Introduzione

L'articolo espone una metodologia di valutazione dell'attrattività economica delle imprese di manutenzione di carrozze ferroviarie. Le fasi principali di questa metodologia includono la determinazione dei criteri di valutazione, la valutazione di ciascun criterio da parte degli esperti, la determinazione dei gruppi concordati di esperti, la determinazione dei coefficienti di correlazione ed i fattori di ponderazione. Sono stati selezionati i criteri che rispecchiano gli aspetti quantitativi e qualitativi dell'attività delle imprese di riparazione di carrozze ferroviarie. È stato stabilito che i criteri dovrebbero coprire le seguenti aree: economia e finanza, produzione, sviluppo tecnico, personale, sistema di gestione, marketing, pianificazione e sviluppo. L'articolo fornisce una panoramica sulla determinazione dei metodi dei fattori di ponderazione. La media di Kemeny può essere considerato il miglior metodo per determinare i fattori di ponderazione.

2. Impostazione del problema

L'effettivo esercizio del traffico ferroviario dipende in larga misura dalle condizioni tecniche del materiale rotabile. Le aziende di trasporto sono interessate ad aumentare la vita utile delle carrozze ferroviarie di loro proprietà, nonché a ridurre i costi di riparazione e manutenzione. Un problema cruciale per tali società è l'esercizio a prova di guasto delle carrozze ferroviarie [1]. I proprietari di carrozze ferroviarie sono desiderosi di collaborare con quelle imprese che sono in grado di fornire una manutenzione (riparazione) rapida e di alta qualità ad un prezzo accessibile.

1. Introduction

The article considers the economic attractiveness evaluation methodology of railway car repair companies. The main stages of this methodology include determining evaluation criteria, each criterion expert evaluating, determining the agreed expert groups, determining correlation coefficients and weighting factors. There have been selected the criteria that reflect both the quantitative and qualitative aspects of the railway car repair companies' activity. It has been established that the criteria should cover the following areas: economics and finance, manufacturing, technical development, staff, management system, marketing, planning and development. The overview of determining the weighting factors methods is given in the article. The Kemeny median can be considered the most optimal method to determine the weighting factors.

2. Setting the problem

The effective functioning of the rail traffic largely depends on the technical condition of the rolling stock. Transport companies are interested in increasing the useful lifetime of railway cars which they own as well as in reducing repair and maintenance costs. A crucial issue for such companies is the fail-safe operation of the railway cars [1]. Railway car owners are eager to cooperate with those enterprises that are able to provide high-quality and prompt maintenance (repair) at an affordable price. As the result, there has arisen the problem of current importance to evaluate the economic attractiveness of railway car repair companies towards the owners of freight cars.

(*) Professore Associato dell'Università Statale dei Trasporti di Omsk.

(**) Docente senior dell'Università Statale dei Trasporti di Omsk.

(*) Associate Professor of Omsk State Transport University.

(**) Senior lecturer of Omsk State Transport University.

sibile. Di conseguenza, è stato affrontato il problema, di attualità, di valutare l'attrattività economica delle imprese di riparazione di carrozze ferroviarie verso i proprietari di vagoni merci.

L'articolo è dedicato allo sviluppo di una procedura pratica, per valutare l'interesse del mercato delle società di riparazione di carrozze ferroviarie. Il problema può essere risolto sulla base dell'approccio econometrico, che utilizza l'analisi esperta dei criteri di attrattività come dati iniziali.

Per risolvere questo problema è necessario sviluppare criteri che riflettano gli aspetti quantitativi e quelli qualitativi dell'attività delle imprese di riparazione di carrozze ferroviarie. L'articolo propone un approccio generale accompagnato da calcoli disposti in tabelle e formule.

Varie Regioni geografiche hanno livelli diversi di sviluppo dell'industria della manutenzione e riparazione delle carrozze ferroviarie. Vi è anche una differenza significativa nei modelli di "business" applicati. Pertanto, i criteri e il loro contenuto possono variare notevolmente a seconda della Regione.

L'articolo considera l'Eurasia, dove l'UE è il mercato più avanzato per la riparazione di carrozze ferroviarie. Questo mercato è caratterizzato dalle moderne tecnologie, un'ampia gamma di servizi forniti, la disponibilità della produzione di parti di riparazione e la digitalizzazione avanzata. Qui possiamo menzionare aziende come ZOS Trnava, ÖBB TS Werk Knittelfeld, VTG, Bombardier Transportation, Alstom.

Va notato che il mercato per la ferrovia a scartamento 1520 mm è piuttosto elevato in Eurasia, in particolare in Russia, dove i principali attori del mercato sono la controllata di Russian Railways JSC, le società VRK-1, VRK-2 e VRK-3, Gruppo di società Novotrans Transvagonmash.

Vi è un buon motivo per confrontare la scelta dei criteri e delle valutazioni finali sia da parte delle stesse imprese di riparazione di carrozze ferroviarie, sia da parte dei proprietari di carrozze ferroviarie, quali potenziali clienti. Si prevede che le conclusioni, ottenute a seguito della ricerca, saranno utili per le aziende di manutenzione di carrozze ferroviarie, quando formeranno una strategia di sviluppo, aggiorneranno i programmi di investimento, ottimizzeranno i costi di produzione e miglioreranno la qualità della riparazione. I proprietari di carrozze ferroviarie avranno l'opportunità di valutare le aziende di riparazione di carrozze ferroviarie in modo più oggettivo, quando le sceglieranno come partner.

Il risultato finale della ricerca dovrebbe definire una metodologia di valutazione dell'attrattività economica delle imprese di riparazione di carrozze ferroviarie, per potenziali clienti, con possibili opzioni per la costruzione della funzione di domanda.

La prima fase della ricerca è dedicata alla collaborazione con gli specialisti delle aziende di manutenzione di

The article is devoted to the development of a practical procedure for evaluating market attractiveness of railway car repair companies. The problem can be solved on the basis of the econometric approach which uses expert analysis of attractiveness criteria as the initial data.

To solve this problem it is necessary to develop criteria that reflect both the quantitative and qualitative aspects of the railway car repair companies' activity. The article proposes a general approach which is accompanied with the calculations arranged in tables and formulas.

Various geographical regions have quite different levels of developing the railway car maintenance and repair industry. There is also a significant difference in the applied business models. Therefore, the criteria and their content may differ considerably depending on the region.

The article considers Eurasia where the EU is the most advanced railway car repair market. This market is characterized by the modern technologies, a wide range of services provided, the availability of repair parts production and advanced digitalization. Here we can mention such companies as ZOS Trnava, ÖBB TS Werk Knittelfeld, VTG, Bombardier Transportation, Alstom.

It should be noted that the market for RAIL 1520 is quite high in Eurasia, particularly in Russia, where the leading market players are the subsidiary of Russian Railways JSC; VRK-1, VRK-2 and VRK-3 companies; Group of companies Novotrans; Transvagonmash, etc.

There is a good reason to make a comparison in the selection of criteria and final evaluations both by the railway car repair companies themselves and by the railway car owners who are the railway car repair companies' potential customers. It is expected that the conclusions obtained as a result of the research will be useful for railway car repair companies when they form a development strategy, update investment programs, optimize production costs and improve the repair quality. Railway car owners will have the opportunity to evaluate railway car repair companies more objectively when choosing them as a partner.

The final result of the research should be the economic attractiveness evaluation methodology of railway car repair companies for potential customers with possible options for constructing the demand function.

The first stage of the research is devoted to working with railway car repair companies' specialists who will be considered as experts. The experts are responsible for:

1. determining evaluation criteria;
2. each criterion expert evaluating.

The second stage consists in processing the information received from the experts and obtaining quantitative evaluation.

On further researching there is a good reason to obtain an evaluation of the attractiveness of railway car repair companies from the point of view of the Customer, i.e. consumers of services which railway car repair companies pro-

carrozze ferroviarie, definiti come "esperti". Gli esperti hanno la responsabilità di:

1. determinare i criteri di valutazione;
2. ogni criterio di valutazione dell'esperto.

La seconda fase consiste nell'elaborare le informazioni ricevute dagli esperti e nell'ottenere una valutazione quantitativa.

A seguito di ulteriori ricerche, vi è un buon motivo per ottenere una valutazione dell'attrattività delle imprese di riparazione di carrozze ferroviarie dal punto di vista del Cliente, cioè dei consumatori dei servizi forniti dalle imprese di manutenzione di carrozze ferroviarie. In questo caso, gli specialisti dal lato del Cliente saranno gli esperti.

L'altro problema è di coordinare i criteri di valutazione locali, determinati dalle imprese di manutenzione delle carrozze ferroviarie e dal Cliente. Il confronto tra le valutazioni integrali ottenute secondo le imprese di riparazione di carrozze ferroviarie e i dati del Cliente sono altresì interessanti.

Questo articolo assegna come obiettivo la scelta dei metodi di conciliazione delle opinioni degli esperti, i criteri di classificazione e la determinazione della sequenza di azioni per ottenere valutazioni quantitative.

3. Criteri di valutazione

Inizialmente, si forma un elenco di criteri che sono offerti agli specialisti (esperti) delle principali società di manutenzione delle carrozze ferroviarie per la valutazione. L'elenco può essere modificato sia verso il basso che verso l'alto nel numero di criteri. Gli esperti valutano ciascun criterio su una scala di dieci punti, ovvero assegnano un fattore di ponderazione a ciascun criterio. I fattori di ponderazione saranno certamente differenti per i diversi esperti. È possibile "porre la valutazione in ordine" nella classificazione dei fattori di ponderazione utilizzando vari metodi econometrici.

In base alle peculiarità dell'attività delle imprese di manutenzione delle carrozze ferroviarie, è stato stabilito che i criteri dovranno coprire le seguenti aree:

- economia e finanza;
- produzione;
- sviluppo tecnico;
- personale;
- sistema di gestione;
- marketing;
- sviluppo e pianificazione.

La Tab. 1 mostra un esempio di sviluppo dei criteri per le aree enunciate: il numero di criteri può essere anche inferiore. Il numero ottimale di criteri varia da 7 a 10. La Tab. 2 presenta uno schema di valutazione dei criteri ad uso degli esperti.

vide. In this case, specialists on the customer side will be the experts.

The other problem is to coordinate local evaluation criteria determined by railway car repair companies and by the Customer. Comparing the integral evaluations obtained according to railway car repair companies and the Customer's data is also of concern.

This article assigns the objective to choose the methods of reconciling the experts' opinions, ranking criteria and determining the sequence of actions to obtain quantitative evaluations.

3. Evaluation criteria

Initially, a list of criteria which are offered to the leading railway car repair companies' specialists (experts) for evaluation is formed. The list can be adjusted both downward and upward in the number of criteria. Experts evaluate each criterion on a ten-point scale, i.e. assign a weighting factor to each criterion. The weighting factors will certainly differ for different experts. It is possible to "put things in order" in ranking weighting factors using various econometric methods.

According to the peculiarities of the railway car repair companies' activity, it was established that the criteria should cover the following areas:

- economics and finance;
- manufacturing;
- technical development;
- staff;
- management system;
- marketing;
- planning and development.

The example of the selected criteria is shown in Tab. 1. There can be a fewer number of criteria. The optimal number of criteria varies from 7 to 10.

Evaluating the criteria is presented in Tab. 2.

4. Preliminary considerations for possible approaches to solving the problem

A preliminary analysis of methods for calculating weighting factors led to the following conclusions:

1. The calculation of weighting factors is intended to rank the criteria with obtaining a quantitative smoothed evaluation for each criterion from various experts.
2. Overly elaborated methods should not be used, especially at the initial stage. Elaborated methods are used when there is a large number of both quantitative and qualitative criteria (more than 10) and a large number of experts.
3. The results of calculating the weighting factors using elaborated methods can differ significantly from each other.

Criteri selezionati
Selected criteria

Tabella 1 – Table 1

N.	Criterio Criterion	Nota Note
1	Costo unitario medio annuo della riparazione di carrozze ferroviarie <i>Average annual unit cost of railway car repair</i>	
2	Salario medio <i>Average salary</i>	Dinamiche <i>Dynamics</i>
3	Reddito annuo delle società di riparazione di carrozze ferroviarie <i>Railway car repair companies' annual income</i>	Dinamiche <i>Dynamics</i>
4	Rendimento delle attività <i>Return on assets</i>	
5	Volume monetario dei programmi di investimento per 3-5 anni <i>Monetary volume of investment programs for 3-5 years</i>	
6	Valore del prestito <i>Loan value</i>	
7	Fatturato annuo delle imprese di riparazione di carrozze ferroviarie <i>Railway car repair companies' annual turnover</i>	Dinamiche <i>Dynamics</i>
8	Periodo di esercizio sul mercato <i>Operating time on the market</i>	
9	Sistema esistente di gestione della qualità <i>Existing quality management system</i>	
10	Attrezzatura tecnica <i>Technical equipment</i>	
11	Quantità di lavoro all'anno (numero di carrozze ferroviarie riparate) <i>The amount of work per year (the number of railway cars repaired)</i>	Tipi di carrozze ferroviarie, tipi di riparazione <i>Types of railway cars, types of repair</i>
12	Disponibilità di filiali nell'area logistica del Cliente <i>Branches availability in the Customer's logistics area</i>	
13	Tipi di riparazione <i>Types of repair</i>	
14	Competenze professionali del personale <i>Personnel professional skills</i>	
15	Quota di attività obbligatorie esternalizzate <i>Share of outsourced mandatory activities</i>	(metrologia, controlli non distruttivi, ecc.) (<i>metrology, nondestructive testing, etc.</i>)
16	Durata dei contratti stipulati con il Cliente <i>Duration of the contracts made with the Customer</i>	
17	Partecipazione a partnership no profit <i>Participation in nonprofit partnerships</i>	
18	Esistenza di una politica di marketing <i>The existence of marketing policy</i>	

4. It is advisable to limit the number of introduced local criteria: quantitative criteria - no more than 3-4, qualitative criteria - no more than 3 – 4. The total number is no more than 10 criteria [2].

5. The choice of experts is a subjective facilitation that largely determines the results of calculations.

6. Using two or three simple iteration methods by a few experts is preferable to using the only one complex calculation method by a large number of experts.

7. Among a great number of methods that can be used for solving this problem, the following ones are to be noted:

7.1. Weighted average estimation (arithmetical average).

7.2. Method of pair coefficients.

7.3. Calculation using the Fishburn formula, which involves substituting inequalities and bases on three margins of preferences (high, neutral and low) [3]:

$$W_i = \frac{2(N - J + 1)}{N(N + 1)}$$

where W_i represents the weighting for the i -th criterion, $i \in 1, N$; J represents the rating for the i -th criterion, $i \in 1, N$; N is the total number of criteria that are taken into account when determining the integral evaluation;

7.4. since the expert evaluations are carried out in an ordinal scale and they are sequences of weighting factors ratings which are composed of elements of non-linear spaces, it is advisable to use non-numeric data statistics methods for their analysis.

5. Determining the agreed expert groups

Before processing and finding the weighting factors it is necessary to evaluate the rank proximity given by various experts.

Tabella 2 – Table 2

Analisi esperta dei criteri di attrattività delle imprese di manutenzione delle carrozze ferroviarie
Expert analysis of the attractiveness criteria of railway car repair companies

Numero di criterio <i>Criterion number</i>	N.	Numero dell'esperto <i>Expert's number</i>				
		1	2	3	...	19
1						
2						
3						
...						
20						

4. Considerazioni preliminari per possibili approcci alla risoluzione del problema

Un'analisi preliminare dei metodi per il calcolo dei fattori di ponderazione ha portato alle seguenti conclusioni:

1. Il calcolo dei fattori di ponderazione ha lo scopo di classificare i criteri con l'ottenimento di una valutazione quantitativa normalizzata per ciascun criterio da diversi esperti.
2. Non dovrebbero essere utilizzati metodi eccessivamente elaborati, soprattutto nella fase iniziale. I metodi elaborati sono utilizzati quando esiste un gran numero di criteri sia quantitativi che qualitativi (più di 10) e un gran numero di esperti.
3. I risultati del calcolo dei fattori di ponderazione utilizzando metodi elaborati possono differire significativamente l'uno dall'altro.
4. Si consiglia di limitare il numero di criteri locali introdotti: criteri quantitativi – non più di 3-4; criteri qualitativi – non più di 3-4. Il numero totale non supera 10 criteri [2].
5. La scelta degli esperti è un'agevolazione soggettiva che determina in gran parte i risultati dei calcoli.
6. L'utilizzo di due o tre semplici metodi di iterazione da parte di pochi esperti è preferibile all'utilizzo dell'unico metodo di calcolo complesso da parte di un numero elevato di esperti.
7. Tra un gran numero di metodi che possono essere utilizzati per risolvere questo problema, si segnalano i seguenti:

The proximity of two rankings is characterized by the number of elementary operations (the number of permutations of neighboring elements or movement of an element from one place to another one regardless of the position numbers). Depending on the type of elementary operations used in calculations Kendall's Tau and Spearman's rank correlation coefficients are most often used in the statistical analysis of ranking data.

Spearman's rank correlation coefficient is the easiest to calculate and it is proposed for the primary data proceeding of expert evaluations.

Let us assume that m experts evaluate the work of railway car repair companies' according to n criteria. Suppose that the i -th expert has given an evaluation R_{ik} according to the k -th criterion, and the j -th expert - R_{jk} . Let us calculate the k values $d_k R_{ik} - R_{jk}$ for each criterion. Then the Spearman's rank correlation coefficient between the i -th and j -th experts is calculated by the formula:

$$\rho_{ij} = 1 - \frac{6 \sum_{k=1}^n d_k^2}{n(n^2 - 1)}; \quad (1 \leq i, j \leq m).$$

As compared to the common correlation coefficient, its value are also in the interval $[-1; 1]$: upon this $\rho_{ij} = 0$ indicates that there is no correlation between the i -th and j -th experts's opinions. When $n \geq 10$, the significance of the Spearman's rank correlation coefficient ρ_{ij} can be easily verified. The correlation between the i -th and j -th experts' opinions is

- 7.1. Stima della media ponderata (media aritmetica).
- 7.2. Metodo dei coefficienti di coppia.
- 7.3. Calcolo mediante la formula di Fishburn, che prevede la sostituzione delle disuguaglianze e basi su tre margini di preferenza (alto, neutro e basso) [3]:

$$W_i = \frac{2(N - J + 1)}{N(N + 1)}$$

dove W_i rappresenta la ponderazione per l'i-esimo criterio, $i \in 1, \dots, N$; J rappresenta il rating per l'i-esimo criterio $i \in 1, \dots, N$; N è il numero totale di criteri presi in considerazione nella determinazione della valutazione integrale;

- 7.4. poiché le valutazioni degli esperti sono effettuate in scala ordinale e sono sequenze di valutazioni di fattori di ponderazione, composte da elementi di spazi non lineari, è consigliabile utilizzare metodi statistici di dati non numerici per la loro analisi.

5. Determinazione dei gruppi di esperti concordati

Prima di elaborare e trovare i fattori di ponderazione è necessario valutare la distanza (differenza) di classifica data dai vari esperti.

La distanza di due classifiche è caratterizzata dal numero di operazioni elementari (il numero di permutazioni di elementi vicini o spostamento di un elemento da un luogo all'altro indipendentemente dai numeri di posizione). A seconda del tipo di operazioni elementari utilizzate nei calcoli, i coefficienti di correlazione della classifica Tau di Kendall e Spearman sono più spesso utilizzati nell'analisi statistica dei dati del "ranking".

Il coefficiente di correlazione del rango di Spearman è il più semplice da calcolare ed è proposto per l'elaborazione dei dati primari di valutazioni degli esperti.

Ipotizziamo che m esperti valutino il lavoro delle imprese di manutenzione di carrozze ferroviarie secondo n criteri. Supponiamo che l'i-esimo esperto abbia dato una valutazione R_{ik} secondo il k-esimo criterio, e l'j-esimo esperto R_{jk} . Calcoliamo i valori $k d_k R_{ik} - R_{jk}$ per ciascun criterio. Quindi il coefficiente di correlazione di rango di Spearman tra gli esperti i-esimo e j-esimo viene calcolato con la formula:

$$\rho_{ij} = 1 - \frac{6 \sum_{k=1}^n d_k^2}{n(n^2 - 1)}; \quad (1 \leq i, j \leq m).$$

Come per il comune coefficiente di correlazione, anche i suoi valori sono nell'intervallo $[-1; 1]$: per questo $\rho_{ij} = 0$ indica che non c'è correlazione tra i-esimo e j-esimo parere degli esperti. Quando $n \geq 10$, il significato del coef-

recognized as significant at the significance level α (usually $\alpha = 0.95$), if $\rho_{ij} > \rho_\alpha$, where

$$\rho_\alpha = u_\alpha \cdot \frac{1}{\sqrt{n-1}}.$$

Here u_α is the corresponding quantile of the normal distribution. When $\alpha = 0.95$, the quantile is $u_\alpha = 1.65$. When, $n \leq 9$ verifying the significance of the Spearman's rank correlation coefficient ρ_{ij} is a more complex procedure [4].

Mutual correlation coefficients ρ_{ij} are taken into consideration while choosing the most representative experts' evaluations. The most representative significant experts' evaluations correspond to the most significant coefficients.

The coefficients values and their significance can be entered in Tab. 3.

The specialists of the largest railway car repair companies such as New Car Repair Company LLC, United Metallurgical Company (OMK), Repair Company Novotrans LLC, JSC "VRK-1", JSC "Vagonremmash" can be considered as experts (there are 5 of them in Tab. 3) for the Russian railway car repair market. In what follows, the numerical values of the evaluations do not reflect the actual opinion of specialists (the survey was not conducted) and they are given only as an example.

Tab. 3 indicates that 1, 2, 3 and 5 expert groups' opinions are clearly agreed. These opinions can be taken as the basis for a corresponding evaluation of railway car repair companies' activity.

If such expert groups' opinions cannot be distinguished, then Kendall's Concordance Coefficient W can be calculated using the following formula:

$$mW = 1 + \frac{2}{m} \sum_{1 \leq i < j \leq m} \rho_{ij} \quad (2)$$

Kendall's Concordance Coefficient W shows the agreement among the expert groups' opinions. The agreement among the expert groups is considered high if $W \geq 0.8$.

To verify the agreement we calculate Kendall's Concordance Coefficient W for the entire expert group as a whole. If $n \geq 10$, the significance of the concordance coefficient is verified by comparing W with the critical value W at the significance level α (usually $\alpha = 0.95$)

$$W_\alpha = \frac{\chi_\alpha^2}{m(n-1)},$$

where χ_α^2 is the α quantile of the χ^2 distribution with $n-1$ degrees of freedom. This quantile can be found most conveniently by using the CHISQ.INV function in Microsoft Excel

ficiente di correlazione del rango di Spearman ρ_{ij} può essere facilmente verificato. La correlazione tra i-esimo e j-esimo parere degli esperti è riconosciuta di livello α significativo (normalmente $\alpha = 0,95$), se $\rho_{ij} > \rho_\alpha$, dove

$$\rho_\alpha = u_\alpha \cdot \frac{1}{\sqrt{n-1}} .$$

Qui u_α è il quantile corrispondente alla distribuzione normale. Quando $\alpha = 0,95$, il quantile è $u_\alpha = 1,65$. Quando, $n \leq 9$ per verificare il significato del coefficiente di correlazione del rango di Spearman ρ_{ij} è necessaria una procedura più complessa [4].

Nella scelta delle valutazioni degli esperti più rappresentative, sono presi in considerazione i coefficienti di correlazione reciproca ρ_{ij} . Le valutazioni degli esperti più rappresentative e significative corrispondono ai coefficienti più significativi.

I valori dei coefficienti e la loro significatività possono essere riepilogati in forma tabellare (Tab. 3).

Gli specialisti delle più grandi aziende di manutenzione di carrozze ferroviarie come New Car Repair Company LLC, United Metallurgical Company (OMK), Repair Company Novotrans LLC, JSC "VRK-1", JSC "Vagonremmash" possono essere considerati esperti (ce ne sono 5 nella Tab. 3) per il mercato russo. Nel seguito, i valori numerici delle valutazioni non riflettono l'opinione effettiva degli specialisti (l'indagine non è stata sviluppata) e sono forniti solo a titolo esemplificativo.

La Tab. 3 indica che le opinioni dei gruppi di esperti 1, 2, 3 e 5 chiaramente concordano. Tali pareri possono essere presi come base per una corrispondente valutazione dell'attività delle imprese di riparazione di carrozze ferroviarie.

Se non è possibile distinguere le opinioni di tali gruppi di esperti, può essere calcolato il coefficiente di concordanza W di Kendall utilizzando la seguente formula:

$$mW=1+\frac{2}{m}\sum_{1\leq i < j \leq m}\rho_{ij} \quad (2)$$

Il coefficiente di concordanza W di Kendall mostra l'accordo tra le opinioni dei gruppi di esperti. L'accordo tra i gruppi di esperti è considerato elevato se $W \geq 0,8$.

Per verificare l'accordo calcoliamo il coefficiente di concordanza W di Kendall per l'intero gruppo di esperti nel suo insieme. Se $n \geq 10$, il significato del coefficiente di concor-

$(\alpha; n-1)$ (in older versions of Microsoft EXCEL the CHISQ.INV function $(1-\alpha; n-1)$).

Tab. 4 which shows the values of the quantity $\frac{\chi^2_\alpha}{(n-1)}$ at $\alpha = 0.95$ for various n values allows to find the critical point W_α conveniently.

To find the critical point for a given value n (the number of criteria) it is necessary to divide the value found in the table by m - the number of experts.

At $n \leq 10$, verifying the concordance coefficient for significance is given in [5].

If $W > W_\alpha$ the group of experts can be considered agreed, and their opinion can be used to find the experts' opinions quantitative evaluation. If $W < W_\alpha$ we find the concordance coefficients for the groups in which experts having the most discrepancy among the other experts' evaluations are excluded one by one. Among these groups we find a group of experts where the concordance coefficient is the highest, then we carry out the procedure described above with this concordance coefficient, etc.

This procedure allows you to find a group of experts whose evaluations are close to each other, and take them as a basis for obtaining the validity of conclusions about the economic attractiveness of railway car repair companies.

Let us consider the example.

Tabella 3 – Table 3

Valori dei coefficienti e il loro significato
The coefficients values and their significance

Numero dell'esperto Expert's number	Numero dell'esperto Expert's number				
	1	2	3	4	5
1	1	ρ_{12} Significativo ρ_{12} Significant	ρ_{13} Significativo ρ_{13} Significant	ρ_{14} Non Significativo ρ_{14} Nonsignificant	ρ_{15} Significativo ρ_{15} Significant
		1	1	1	1
2	2	1	ρ_{23} Significativo ρ_{23} Significant	ρ_{24} Non Significativo ρ_{24} Nonsignificant	ρ_{25} Significativo ρ_{25} Significant
			1	1	1
3	3	1	1	ρ_{34} Non Significativo ρ_{34} Nonsignificant	ρ_{35} Significativo ρ_{35} Significant
				1	1
4	4	1	1	ρ_{45} Non Significativo ρ_{45} Nonsignificant	1
5					1

SCIENZA E TECNICA

danza è verificata confrontando W con il valore critico W_α al livello significativo α (normalmente $\alpha = 0,95$)

$$W_\alpha = \frac{\chi_\alpha^2}{m(n-1)},$$

dove χ_α^2 è il quantile α della distribuzione χ^2 con $(n-1)$ gradi di libertà. Questo quantile può essere trovato più comodamente utilizzando la funzione CHISQ.INV in Microsoft Excel ($\alpha; n-1$) (nelle versioni precedenti di Microsoft EXCEL la funzione CHISQ.INV ($1-\alpha; n-1$)).

La Tab. 4 riporta i valori della grandezza $\frac{\chi_\alpha^2}{(n-1)}$ ad

$\alpha = 0,95$ per vari n valori e permette di trovare il punto critico W_α .

Per trovare il punto critico per un dato valore n (il numero di criteri), è necessario dividere il valore trovato nella tabella per m – (numero di esperti).

Per $n \leq 10$, la verifica del coefficiente di concordanza di significato è riportato in [5].

Se $W > W_\alpha$ il gruppo di esperti può essere considerato in concordanza e la loro opinione può essere utilizzata per trovare una valutazione quantitativa delle opinioni degli esperti. Se $W < W_\alpha$, troviamo i coefficienti di concordanza per i gruppi in cui gli esperti che presentano la maggiore discrepanza tra le valutazioni degli altri esperti vengono esclusi uno per uno. Tra questi gruppi troviamo un gruppo di esperti dove il coefficiente di concordanza è il più alto; quindi, eseguiamo nuovamente la procedura sopra descritta con questo coefficiente di concordanza, e così via.

Questa procedura consente di trovare un gruppo di esperti le cui valutazioni sono vicine tra loro e di prenderle come base per ottenere la validità delle conclusioni sull'attrattiva economica delle imprese di manutenzione delle carrozze ferroviarie.

Consideriamo allora l'esempio che segue.

Cinque esperti hanno valutato i criteri di attrattività delle imprese di manutenzione delle carrozze ferroviarie secondo la scala a dieci punti (Tab. 5).

I valori della quantità $\frac{\chi_\alpha^2}{n-1}$

The values of the quantity $\frac{\chi_\alpha^2}{n-1}$

n	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\frac{\chi_\alpha^2}{n-1}$	1.88	1.83	1.79	1.75	1.72	1.69	1.67	1.64	1.62	1.6	1.59

Five experts evaluated the attractiveness criteria of the railway car repair companies according to the ten-point scale (Tab. 5).

After calculating Spearman's rank correlation coefficients, which are calculated using the CORREL function where the corresponding cells are written as arguments, we obtain the values of the correlation coefficients and their significance (Tab. 6).

Let's verify their significance. Since:

$$\rho_\alpha = 1.65 \cdot \frac{1}{\sqrt{17}} \approx 0.4, \text{ then all values } \rho_{12}, \rho_{13}, \rho_{15}, \rho_{25},$$

ρ_{35} , are significant, therefore experts 1, 2, 3 and 5 form an agreed group of experts.

First, find the concordance coefficient for the entire group and verify its significance, then remove Expert 4 from the group and find a new concordance coefficient.

$$W_{12345} = \frac{1}{5} + \frac{2}{25} \cdot (0.82+0.69+0.66-0.51-0.56-0.37+0.78+0.62+0.42-0.28) = \\ = 0.2+0.18=0.38$$

Although the critical value of the concordance coefficient:

$$n = 18 \text{ and } m = 5 \text{ is } W_\alpha = \frac{\chi_\alpha^2}{m(n-1)} = \frac{1.62}{5} = 0.324 < 0.38 \text{ l},$$

removing the expert from group 4 sharply increases the value of the concordance coefficient:

$$W_{1235} = \frac{1}{4} + \frac{1}{8} \cdot (0.82+0.69+0.66+0.78+0.62+0.42) = \\ = 0.25+0.499 \approx 0.75$$

In this case, the critical value of the concordance coefficient is:

$$W_\alpha = \frac{\chi_\alpha^2}{m(n-1)} = \frac{1.62}{4} = 0.405 < 0.75$$

Tabella 4 – Table 4 In this example, an agreed group of experts is found. These are experts 1, 2, 3, 5.

6. Determining the weighting factors of the local criteria. The brief overview and the selection of the optimal method

After finding an agreed expert group, it is necessary to obtain the selected group's average opinion on determining the values of the weighting factors for each criterion.

Tabella 5 – *Table 5*

Valutazione degli esperti in base ai criteri di attrattività delle imprese di manutenzione delle carrozze ferroviarie
Expert evaluating the attractiveness criteria of railway car repair companies

Numero di criterio <i>Criterion number</i>	Nome criterio <i>Criterion name</i>	Numero dell'esperto <i>Expert's number</i>				
		1	2	3	4	5
1.	Costo unitario medio annuo della riparazione di carrozze ferroviarie <i>Average annual unit cost of railway car repair</i>	5	4	6	10	3
2.	Salario medio <i>Average salary</i>	7	6	5	1	6
3.	Reddito annuo delle società di riparazione di carrozze ferroviarie <i>Railway car repair companies' annual income</i>	4	5	7	8	5
4.	Rendimento delle attività <i>Return on assets</i>	1	2	3	9	2
5.	Volume monetario dei programmi di investimento <i>Return on assets</i>	3	4	3	7	5
6.	Valore del prestito <i>Loan value</i>	8	7	7	2	6
7.	Fatturato annuo delle imprese di riparazione di carrozze ferroviarie <i>Railway car repair companies' annual turnover</i>	7	8	6	4	5
8.	Periodo di esercizio sul mercato <i>Operating time on the market</i>	6	5	4	9	7
9.	Sistema esistente di gestione della qualità <i>Existing quality management system</i>	1	3	2	7	3
10.	Attrezzatura tecnica <i>Technical equipment</i>	2	3	4	6	1
11.	Quantità di lavoro all'anno (numero di carrozze ferroviarie riparate) <i>The amount of work per year (the number of railway cars repaired)</i>	4	4	6	7	3
12.	Disponibilità di filiali nell'area logistica del Cliente <i>Branches availability in the Customer's logistics area</i>	6	5	6	1	4
13.	Tipi di riparazione <i>Types of repair</i>	5	5	4	10	3
14.	Competenze professionali del personale <i>Personnel professional skills</i>	3	2	1	8	4
15.	Quota di attività obbligatorie esternalizzate <i>Share of outsourced mandatory activities</i>	2	4	1	5	2
16.	Durata dei contratti stipulati con il Cliente <i>Duration of the contracts made with the Customer</i>	4	3	5	8	3
17.	Partecipazione a partnership no profit <i>Participation in nonprofit partnerships</i>	1	4	3	6	2
18.	Esistenza di una politica di marketing <i>The existence of marketing policy</i>	2	4	4	7	2

Dopo aver calcolato i coefficienti di correlazione sulla base della classifica di Spearman, utilizzando la funzione CORREL di Excel, in cui le celle corrispondenti sono scritte come argomenti, si ottengono i valori dei coefficienti di correlazione e la loro significatività (Tab. 6).

Verifichiamo allora la significatività. Poiché:

$$\rho_{\alpha} = 1,65 \cdot \frac{1}{\sqrt{17}} \approx 0,4, \text{ allora tutti i valori } \rho_{12}, \rho_{13}, \rho_{15},$$

ρ_{25}, ρ_{35} , sono significativi, quindi gli esperti 1, 2, 3 e 5 formano un gruppo in concordanza di esperti.

Innanzitutto, si trova il coefficiente di concordanza per l'intero gruppo e si verifica la sua significatività; quindi, è rimosso l'Esperto 4 dal gruppo e si trova un nuovo coefficiente di concordanza.

$$W_{12345} = \frac{1}{5} + \frac{2}{25} \cdot (0,82+0,69+0,66-0,51-0,56-0,37+0,78+0,62+0,42-0,28) = \\ = 0,2+0,18=0,38$$

Sebbene il valore critico del coefficiente di concordan-

$$\text{za } n = 18 \text{ e } m = 5 \text{ sia } W_{\alpha} = \frac{\chi^2_{\alpha}}{m(n-1)} = \frac{1,62}{5} = 0,324 < 0,381,$$

rimuovendo l'Esperto 4 dal gruppo si aumenta notevolmente il valore del coefficiente di concordanza:

$$W_{1235} = \frac{1}{4} + \frac{1}{8} \cdot (0,82+0,69+0,66+0,78+0,62+0,42)= \\ = 0,25+0,499 \approx 0,75$$

In questo caso, il valore critico del coefficiente di concordanza è:

$$W_{\alpha} = \frac{\chi^2_{\alpha}}{m(n-1)} = \frac{1,62}{4} = 0,405 < 0,75$$

In questo esempio si trova un gruppo in concordanza di esperti: 1, 2, 3, 5.

6. Determinazione dei fattori di ponderazione dei criteri locali: breve panoramica e scelta del metodo ottimale

Dopo aver individuato un gruppo di esperti in concordanza, è necessario ottenere il giudizio medio del gruppo selezionato sulla determinazione dei valori dei fattori di ponderazione per ciascun criterio.

I metodi per calcolare i fattori di ponderazione sono discussi in un numero abbastanza ampio di lavori scientifici (ad esempio [6][7][8][9]).

Tabella 6 – Table 6

I valori del coefficiente di correlazione e la loro significatività
The correlation coefficient values and their significance

Numero dell'esperto Expert's number	Numero dell'esperto Expert's number				
	1	2	3	4	5
1	1	0.82	0.69	-0.51	0.78
2		1	0.66	-0.56	0.62
3			1	-0.37	0.42
4				1	-0.28
5					1

Methods for calculating weighting factors are discussed in a fairly large number of scientific works, for example [6][7][8][9].

All methods under consideration can be divided into three large groups.

The first group includes methods in which local criteria pairwise comparison based on different types of preferences (fixed, floating, exponent floating, the classical method of pairwise comparison, the multiplicative method of analyzing hierarchies) is made.

The second group includes methods based on analytical dependences of the relationship of the importance indicators for the criteria.

The third group is formed by formal methods. These are the method of sequential comparison of criteria (Churchman - Ackoff method) [10] and the base-criterion method [11].

The resulting expert evaluations are expressed in an ordinal scale, therefore for their analysis it is necessary to use statistical analysis on a non-numerical data. There are various methods for obtaining such evaluations of average values on an ordinal scale. These are the average scores method, the arithmetic mean rank method and the median rank method [12].

However, the most reasonable from the mathematical statistics point of view is the method based on finding the Kemeny median [13][14]. The data of numerical experiments on the study of the properties of the Kemeny median are presented in [15]. It is noted that any "pathologies" in the behavior of the Kemeny median appear mostly when its application has no meaningful interpretation, i.e. when experts do not have a basis for agreement. Since the possibility of such a situation while selecting an agreed group of experts is little, then the Kemeny median

Tutti i metodi in esame possono essere suddivisi in tre grandi gruppi.

Il primo gruppo comprende metodi in cui viene effettuato il confronto a coppie di criteri locali, basati su diversi tipi di preferenze (fisso, mobile, variabile di esponente, il metodo classico di confronto a coppie, il metodo moltiplicativo di analisi delle gerarchie).

Il secondo gruppo comprende metodi basati su dipendenze analitiche della relazione degli indicatori di importanza per i criteri.

Il terzo gruppo è formato da metodi formali. Questi sono il metodo di confronto sequenziale dei criteri (metodo Churchman - Ackoff) [10] e il metodo del criterio base [11].

Le valutazioni risultati degli esperti sono espresse in una scala ordinale: pertanto, per la loro analisi è necessario utilizzare una valutazione statistica su un dato non numerico. Esistono vari metodi per ottenere tali valutazioni di valori medi su scala ordinale. Questi sono il metodo dei punteggi medi, il metodo del rango medio aritmetico e il metodo del rango mediano [12].

Tuttavia, il metodo più ragionevole, dal punto di vista della statistica matematica, è il metodo basato sulla ricerca della mediana di Kemeny [13][14]. I dati degli esperimenti numerici sullo studio delle proprietà della mediana di Kemeny sono presentati in [15]. Si noti che eventuali "patologie", nel comportamento della mediana di Kemeny, compaiono per lo più quando la sua applicazione non ha un'interpretazione significativa, cioè quando gli esperti non hanno una base per un accordo. Poiché la possibilità di una situazione del genere durante la selezione di un gruppo in concordanza di esperti è scarsa, il metodo mediano di Kemeny può essere considerato il migliore per risolvere il problema.

A tale proposito, sono proposte alcune spiegazioni introduttive. Siano A e B relazioni binarie descritte da matrici $\|a_{ij}\|$ e $\|b_{ij}\|$. La distanza di Kemeny per una data relazione binaria è il numero $D(A;B) = \sum |a_{ij} - b_{ij}|$, dove la somma è su tutti gli indici i e j. La distanza di Kemeny conta il numero totale simmetrico di coppie ordinate disgiunte nelle matrici di relazioni binarie.

Con l'aiuto della distanza di Kemeny è preferibile trovare il parere finale della commissione di esperti, poiché soddisfa la maggior parte dei criteri di Arrow [13].

Siano n esperti a presentare le loro risposte nelle classifiche $A(1), A(2), \dots, A(n)$. Allora la mediana di Kemeny è una classifica o diverse classifiche $A(j)$ per la quale:

$$\operatorname{Argmin}_{A(j)} \sum_{i=1}^m D(A(i); (A(j))$$

dove m è il numero di esperti, Argmin è la classifica (o le classifiche $A(j)$), alla quale la valutazione indicata rag-

method can be considered the most optimal one for solving the problem.

Here is some introductory explanations. Let A and B be binary relations described by $\|a_{ij}\|$ and $\|b_{ij}\|$ matrices. The Kemeny distance for a given binary relation is the number $D(A;B) = \sum |a_{ij} - b_{ij}|$, where the summing is over all i and j indices. The Kemeny distance counts the symmetric total number of disjoint ordered pairs in in the binary relation matrices.

It is with the help of Kemeny distance that it is the best to find the final opinion of the expert commission, since it satisfies most of Arrow's criteria [13].

Let n experts present their answers in rankings $A(1), A(2), \dots, A(n)$. Then the Kemeny median is a ranking or several such rankings $A(j)$ for which:

$$\operatorname{Argmin}_{A(j)} \sum_{i=1}^m D(A(i); (A(j))$$

where m is the number of experts, Argmin is the ranking (or these rankings $A(j)$), at which the specified amount reaches a minimum. This ranking (or these rankings) is where the specified minimization occurs in.

Let's look at an example. First, let's remove the least agreed experts' opinion (Tab. 7). Here, it is Expert 4.

Let $A(1), A(2), A(3), A(5)$ denote the cells of ranking evaluations. Then find the pairwise distances matrice i_j (Tab. 8). Here indexes indicate the numbers of the corresponding experts.

In accordance with the definition of Kemeny's median, for each of $A(1), A(2), A(3), A(5)$, you need to find the value for the sum:

$$C(i) = \sum_j D(A(i); (A(j))$$

Let us find such a sum $C(1)$ for ranking $A(1)$. Let us select cells A_{12}, A_{13} , and A_{15} from the pairwise distances matrice and sum all the elements of these cells. As a result, we get $C(1)=70$.

Similarly, for $A(2)$ we select cells A_{12}, A_{23}, A_{25} from the pairwise distance matrice. We receive $C(2)=66$.

For $A(3)$ we select cells A_{13}, A_{23}, A_{35} from the pairwise distance matrice. We receive $C(3)=82$.

For $A(5)$, we select cells A_{15}, A_{25}, A_{35} from the pairwise distance matrice. We receive $C(5)=78$.

Since the minimum value is $C(2)=66$ Kemeny's median is the ranking $A(2)$, and the rankings of the second expert can be considered as the solution of the problem given to the experts. When there are two or more Kemeny medians, there are two options. If the number of Kemeny medians is even, there can be used the arithmetic mean rank method. If this number is odd, there can be used the median rank

Tabella 7 – Table 7

Opinioni degli Esperti
Experts' opinions

Numero di criterio <i>Criterion number</i>	Nome criterio <i>Criterion name</i>	Numero dell'esperto <i>Expert's number</i>			
		1	2	3	5
1.	Costo unitario medio annuo della riparazione di carrozze ferroviarie <i>Average annual unit cost of railway car repair</i>	5	4	6	3
2.	Salario medio <i>Average salary</i>	7	6	5	6
3.	Reddito annuo delle società di riparazione di carrozze ferroviarie <i>Railway car repair companies' annual income</i>	4	5	7	5
4.	Rendimento delle attività <i>Return on assets</i>	1	2	3	2
5.	Volume monetario dei programmi di investimento <i>Monetary volume of investment programs</i>	3	4	3	5
6.	Valore del prestito <i>Loan value</i>	8	7	7	6
7.	Fatturato annuo delle imprese di riparazione di carrozze ferroviarie <i>Railway car repair companies' annual turnover</i>	7	8	6	5
8.	Periodo di esercizio sul mercato <i>Operating time on the market</i>	6	5	4	7
9.	Sistema esistente di gestione della qualità <i>Existing quality management system</i>	1	3	2	3
10.	Attrezzatura tecnica <i>Technical equipment</i>	2	3	4	1
11.	Quantità di lavoro all'anno (numero di carrozze ferroviarie riparati) <i>The amount of work per year (the number of railway cars repaired)</i>	4	4	6	3
12.	Disponibilità di filiali nell'area logistica del Cliente <i>Branches availability in the Customer's logistics area</i>	6	5	6	4
13.	Tipi di riparazione <i>Types of repair</i>	5	5	4	3
14.	Competenze professionali del personale <i>Personnel professional skills</i>	3	2	1	4
15.	Quota di attività obbligatorie esternalizzate <i>Share of outsourced mandatory activities</i>	2	4	1	2
16.	Durata dei contratti stipulati con il Cliente <i>Duration of the contracts made with the Customer</i>	4	3	5	3
17.	Partecipazione a partnership no profit <i>Participation in nonprofit partnerships</i>	1	4	3	2
18.	Esistenza di una politica di marketing <i>The existence of marketing policy</i>	2	4	4	2

giunge un minimo. La classifica (o le classifiche) è stimabile laddove si verifica la minimizzazione specificata.

Un esempio può essere utile a spiegare il metodo. Innanzitutto, rimuoviamo l'opinione degli esperti meno condivisa (Tab. 7). In questo caso, come visto in precedenza, questa coincide con quella fornita dall'Esperto 4.

Indichiamo con A(1), A(2), A(3), A(5) le celle di valutazione della classifica. Quindi troviamo la matrice delle distanze per le coppie ij (Tab. 8) dove gli indici indicano i numeri degli esperti corrispondenti.

In accordo con la definizione della mediana di Kemeny, per ciascun A(1), A(2), A(3), A(5), è necessario trovare il valore per la somma:

$$C(i) = \sum_j D(A(i); (A(j))$$

Calcoliamo la somma C(1) per la classifica A(1). Selezioniamo le celle A_{12} , A_{13} e A_{15} dalla matrice delle distanze a coppie e sommiamo tutti gli elementi di queste celle. Di conseguenza, otteniamo $C(1)=70$.

Allo stesso modo, operiamo per A(2) e selezioniamo le celle A_{12} , A_{23} , A_{25} dalla matrice della distanza a coppie. Otteniamo $C(2)=66$.

Per A(3) selezioniamo le celle A_{13} , A_{23} , A_{35} dalla matrice della distanza a coppie. Otteniamo $C(3)=82$.

Per A(5), selezioniamo le celle A_{15} , A_{25} , A_{35} dalla matrice della distanza a coppie. Otteniamo $C(5)=78$.

Poiché il valore minimo è $C(2)=66$ la mediana di Kemeny è la classifica A(2) e la classifica del secondo esperto può essere considerata come la soluzione del problema data agli Esperti. Quando ci sono due o più mediane Kemeny, esistono due opzioni. Se il numero delle mediane di Kemeny è pari, può essere utilizzato il metodo della classifica della media aritmetica. Se questo numero è dispari, può essere utilizzato il metodo della classifica mediana [12]. La Tab. 9 presenta le classifiche dell'Esperto 2.

Tenendo conto dell'opportunità di ridurre il numero di criteri a sette o dieci, scartiamo (in quanto insignificanti) i criteri la cui posizione in classifica è inferiore a cinque. Di conseguenza, otteniamo i 7 criteri più significativi che determineranno l'attrattiva economica delle aziende di manutenzione di carrozze ferroviarie (Tab. 10).

7. Conclusioni

1. La volontà di ottimizzare l'attività delle imprese di manutenzione delle carrozze ferroviarie nelle attuali condizioni economiche porta alla necessità di considerare e risolvere il problema della determinazione di valutazioni quantitative della loro attrattività di mercato.

2. Un passo necessario per risolvere tale problema è

Tabella 8 – *Table 8*

Matrice delle distanze a coppie

Pairwise distances matrix

N.	A_{12}	A_{13}	A_{15}	A_{23}	A_{25}	A_{35}
1	1	1	2	2	1	3
2	1	2	1	1	0	1
3	1	3	1	2	0	2
4	1	2	1	1	0	1
5	1	0	2	1	1	2
6	1	1	2	0	1	1
7	1	1	2	2	3	1
8	1	2	1	1	2	3
9	2	1	2	1	0	1
10	1	2	1	1	2	3
11	0	2	1	2	1	3
12	1	0	2	1	1	2
13	0	1	2	1	2	1
14	1	2	1	1	2	3
15	2	1	0	3	2	1
16	1	1	1	2	0	2
17	3	2	1	1	2	1
18	2	2	0	0	2	2

method [12]. The rankings of the second expert are presented in Tab. 9.

Taking into account the expediency of reducing the number of criteria to seven or ten let us discard (as insignificant) the criteria which rank is below five. As a result, we get the 7 most significant criteria that will determine the economic attractiveness of the railway car repair companies (Tab. 10).

7. Conclusions

1. The desire to optimize the railway car repair companies' activity in the current economic conditions leads to the necessity for considering and solving the problem of determining quantitative evaluations of their market attractiveness.

2. A necessary step to solve such a problem is to deter-

SCIENZA E TECNICA

Tabella 9 – *Table 9*

Criteri di valutazione dell'attrattività di mercato delle imprese di manutenzione di carrozze ferroviarie in ordine decrescente di importanza (dall'alto verso il basso tenendo conto dei fattori di ponderazione di ciascun criterio sulla scala di dieci punti)

The evaluation criteria of railway car repair companies' market attractiveness in the descending order of significance (from the top downwards taking into account the weighting factors of each criterion by the ten-point scale)

Nome criterio <i>Criterion name</i>	Numero progressivo <i>Consecutive number</i>	Nome criterio <i>Criterion name</i>	Classifica del criterio <i>Criterion rank</i>
7	1	Fatturato annuo delle imprese di riparazione di carrozze ferroviarie <i>Railway car repair companies' annual turnover</i>	8
6	2	Valore del prestito <i>Loan value</i>	7
2	3	Salario medio <i>Average salary</i>	6
3	4	Reddito annuo delle società di riparazione di carrozze ferroviarie <i>Railway car repair companies' annual income</i>	5
8	5	Periodo di esercizio sul mercato <i>Operating time on the market</i>	5
12	6	Disponibilità di filiali nell'area logistica del Cliente <i>Branches availability in the Customer's logistics area</i>	5
13	7	Tipi di riparazione <i>Types of repair</i>	5
1	8	Costo unitario medio annuo della riparazione di carrozze ferroviarie <i>Average annual unit cost of railway car repair</i>	4
5	9	Volume monetario dei programmi di investimento <i>Monetary volume of investment programs</i>	4
11	10	Quantità di lavoro all'anno <i>The amount of work per year</i>	4
15	11	Quota di attività obbligatorie esternalizzate <i>Share of outsourced mandatory activities</i>	4
18	12	Esistenza di una politica di marketing <i>The existence of marketing policy</i>	4
17	13	Partecipazione a partnership no profit <i>Participation in nonprofit partnerships</i>	4
9	14	Sistema esistente di gestione della qualità <i>Existing quality management system</i>	3
10	15	Attrezzatura tecnica <i>Technical equipment</i>	3
16	16	Durata dei contratti stipulati con il Cliente <i>Duration of the contracts made with the Customer</i>	3
4	17	Rendimento delle attività <i>Return on assets</i>	2
14	18	Competenze professionali del personale <i>Personnel professional skills</i>	2

Tabella 10 – *Table 10*

Criteri di valutazione più significativi dell'attrattività di mercato delle imprese di riparazione di carrozze ferroviarie
The most significant evaluation criteria of railway car repair companies' market attractiveness

Numero progressivo <i>Consecutive number</i>	Nome criterio <i>Criterion name</i>	Classifica del criterio <i>Criterion rank</i>
1	Fatturato annuo delle imprese di riparazione di carrozze ferroviarie <i>Railway car repair companies' annual turnover</i>	8
2	Valore del prestito <i>Loan value</i>	7
3	Salario medio <i>Average salary</i>	6
4	Reddito annuo delle società di riparazione di carrozze ferroviarie <i>Railway car repair companies' annual income</i>	5
5	Periodo di esercizio sul mercato <i>Operating time on the market</i>	5
6	Disponibilità di filiali nell'area logistica del Cliente <i>Branches availability in the Customer's logistics area</i>	5
7	Tipi di riparazione <i>Types of repair</i>	5

determinare i criteri di valutazione, preferibilmente concordati tra le imprese di manutenzione delle stesse carrozze ferroviarie e il Cliente.

3. Uno degli approcci corretti per trovare una soluzione è determinare un gruppo concordato di Esperti. Per la classificazione si consiglia di utilizzare il metodo Tau di Kendall e il coefficiente di correlazione di classifica di Spearman.

4. Per determinare i fattori di ponderazione dei criteri locali, è opportuno trovare la mediana di Kemeny può essere considerato il miglior metodo tenendo conto delle specificità del problema da risolvere.

5. Si consiglia di proseguire ulteriori ricerche testando i metodi prescelti prima su campioni e poi su dati reali.

mine the evaluation criteria, preferably agreed by the railway car repair companies and by the Customer.

3. One of the correct approaches to find a solution is determining an expert agreed group. It is advisable to use Kendall's Tau and Spearman's rank correlation coefficient for ranking.

4. To determine the weighting factors of local criteria, finding the Kemeny median can be considered the most optimal method taking into account the specifics of the problem being solved.

5. It is advisable to continue further research by testing the selected methods first on samples and then on actual data.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] "Dialectics of railway car surplus." RZD.partner.ru <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/opinions/set-rzhd-ispytyvaet-davlenie-profitsita-vagonnogo-parka/> (access date 05/31/2021).
- [2] S.V. EMELYANOV, O.I. LARICHEV (1985), "Multi-criteria decision-making methods". Moscow: Knowledge. 32 p.
- [3] P.C. FISHBURN (1970), "Utility Theory for Decision Making". Publications in Operations Research, No. 18. New York: John Wiley and Sons.
- [4] V.E. GMURMAN (2008), "A guide to solving problems in probability theory and mathematical statistics" / V. E. GMURMAN (2008) "Higher education", 244 p; 404 p.
- [5] A.I. KOBZAR (2006), "Applied Mathematical Statistics". For engineers and scientists / A.I. KOBZAR - M.: FIZMATLIT. 816 p.
- [6] Y.V. MIKHAILOV (2011), "Management decisions: a guide for practicing managers". M.: Economics. 143 p.
- [7] A.G. MADERA (2010), "Modeling and decision making in management". A guide for future top managers. Moscow: LKI. 688 p.
- [8] V.D. NOGIN (2007), "Decision making under plenty of criteria". Saint Petersburg: YUTAS. 104 p.
- [9] Y.G. BARANOV (2013), "Management decision making methods". Pskov: PSU. 176 p.
- [10] I.A. TUKKEL, S.N. YASHIN, S.A. MAKAROV, E.V. KOSHELEV (2011), "Development and decision making in innovation management". SPb.: BHV Petersburg. 352 p.
- [11] V.M. POSTNIKOV, S.B. SPIRIDONOV (2013), "The approach to the choice of a LAN server upgrade option" // Science and Education. N.E. BAUMAN MSTU. Electron. journal. No. 2. S. 255-272. DOI: 10.7463 / 0213.0535392.
- [12] I.I. KOVALENKO, A.V. SHVED (2021), "Expert assessment methods for scenarios". Benefit. The editorial and publishing center of the Petro Mohyla Black Sea State University <https://lib.chmnu.edu.ua/index.php?m=2&b=308> [Electronic resource] (access date 05/31/2021).
- [13] M.S. ZHUKOV, A.I. ORLOV (2016), "The task of researching the final ranking of the experts group' opinions using the Kemeny median" / Scientific journal KubG.AU, No. 122 (08).
- [14] J.G. KEMENY, J.L. SNELL (1962), "Mathematical Models in the Social Sciences". - New York, University of Michigan.
- [15] V.N. ZHIKAREV, A.I. ORLOV (1998), "The laws of large numbers and the consistency of statistical evaluations in arbitrary nature spaces / Statistical methods for evaluating and testing hypotheses: interuniversity". Sat. scientific. tr. - Perm: publishing house of the Perm State University. - pp. 65-84.